



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO Y ANÁLISIS DE UNA ESTACIÓN
RADIODIFUSORA PARA LA CIUDAD DE GUAYAQUIL Y
SUS ALREDEDORES, UTILIZANDO EQUIPOS DE
TRANSMISIÓN FM FABRICADOS POR LA EMPRESA
ECUATORIANA ALETEL S.A.”

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

STEVEN ALEXANDER NEIRA ECHEVERRIA

JAIR VINICIO LEDESMA SALAZAR

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por haberme permitido culminar esta etapa de mi vida dándome fuerzas y sabiduría en cada etapa de la tesis. A mis padres Celso y Palmira por haberme apoyado incondicionalmente en cada momento. A mi mamá por cuidarme en cada momento y recibirme siempre con un abrazo cuando llegaba a casa después de una larga jornada de trabajo en la tesis. A mi papá quien con sus grandes conocimientos pudo encaminarme mejor a realizar la tesis, por su tiempo y paciencia que tuvo enseñándome y por su apoyo cada semana. A Valeria quien siempre estuvo ahí para apoyarme cada día dándome ánimos, momentos felices y aliento para seguir adelante, preocupándose que culminara con éxito mi proyecto. Al Ing. Miguel Izquierdo quien estuvo pendiente de que realicemos con éxito cada capítulo y recomendándonos ítems para que el proyecto sea el mejor. Finalmente agradezco a mi compañero y amigo Jair por el arduo trabajo que realizamos para completar el presente proyecto de tesis.

Steven Alexander Neira Echeverría

Agradezco a Dios por bendecirme día a día y por permitirme cumplir esta meta que me ha costado lágrimas y esfuerzo. A mis padres que con su sacrificio, preocupación y dedicación no me han dejado caer y cuando lo hecho me han dado fuerzas para pararme y luchar por terminar esta meta. A mi esposa y mi hijo que son una motivación por la que lucho todos los días para tratar de darle todo lo mejor que se merecen. Siempre he tenido su apoyo y compañía incondicional en momentos buenos y malos. A mis profesores que me han dado las herramientas para rendir académicamente y para el futuro me servirán para desenvolverme en mi vida profesional. Y de manera especial a mi amigo Steven que me apoyo en momentos difíciles, deposito su confianza en mí para lograr tan importante meta.

Jair Vinicio Ledesma Salazar.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi familia, a Valeria, a mis amigos y a cada una de las personas que creyeron y confiaron en mi para poder lograr el presente proyecto con éxito.

Steven Alexander Neira Echeverría

Dedico este proyecto a mis amados padres, esposa y mis hermanas los que siempre me han apoyado incondicionalmente. A mi hijo que es mi razón de ser, mi sonrisa, mi regalo de Dios y por el que siempre daré todo mi esfuerzo para darle todo lo mejor del mundo.

Jair Vinicio Ledesma Salazar

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

Msc. Cesar Yépez Flores

PROFESOR EVALUADOR

Msc. Luis Fernando Vásquez Vera

PROFESOR EVALUADOR

Ph.D. Juan Carlos Avilés Castillo

PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me(nos) corresponde exclusivamente; y doy(damos) mi(nuestro) consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

.....

Steven Alexander Neira Echeverría

.....

Jair Vinicio Ledesma Salazar

RESUMEN

En el presente estudio se propone realizar el diseño de una estación radiodifusora para la ciudad de Guayaquil y sus alrededores mediante el uso de equipos transmisores en frecuencia modulada (FM) de fabricación nacional por la empresa ecuatoriana Aletel S.A. Mediante el uso de un software de simulación como Radio Mobile se realizó la colocación de los datos de los equipos, ubicación, frecuencias y demás parámetros logrando visualizar el funcionamiento, alcance y confiabilidad del diseño de una mejor manera. Para constatar el cumplimiento de los parámetros técnicos de funcionamiento del transmisor de fabricación nacional establecidos en la normativa para radiodifusión sonora en FM por la Arcotel, se realizaron las respectivas pruebas de campo y de laboratorio ajustando los parámetros de medición en base a las reglas y recomendaciones establecidas por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

En el capítulo uno se exponen la descripción del problema con su justificación y una solución a dicha problemática, definiendo los objetivos y la metodología que ayudará a alcanzar de mejor manera el objetivo

En el capítulo dos se muestra el marco teórico y jurídico, con una revisión de los parámetros técnicos de funcionamiento de una estación radial, recomendaciones de la UIT y la FCC y detalle de los diversos elementos que se utilizan en la implementación de una estación radial, fundamentando de mejor manera el uso de cada uno de ellos. Después se analizaron los objetivos que tienen las normas de regulación y las sanciones por el incumplimiento de dichas reglas.

En el capítulo tres se expone la información completa del diseño de la estación radial Espol FM, en el cual consta la ubicación del estudio, ubicación del sitio de transmisión, equipos a utilizar, ganancias, potencias de transmisión, tipos de antenas, nivel de recepción y demás parámetros que conforman el sistema de radio enlace y el sistema radiante. Además, se exponen las mediciones realizadas del transmisor de radiofrecuencia de marca M&J modelo MA-FM-350, detallando el procedimiento y el detalle de cada medición.

Finalmente, en el capítulo cuatro se analizan los resultados obtenidos en el capítulo tres, verificando si se cumplen los parámetros técnicos establecidos en la norma para el correcto funcionamiento del transmisor, la eficiencia del equipo al momento de trabajar, la estabilidad del transmisor y el análisis de cobertura de nuestra emisora radial.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA	v
RESUMEN	vi
ÍNDICE GENERAL.....	viii
CAPÍTULO 1	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	1
1.1. Descripción del Problema.	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Solución propuesta.....	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5. Metodología.....	4
CAPÍTULO 2.....	6
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y JURÍDICA.....	6
2.1 Marco Teórico.....	6
2.1.1 Espectro radioeléctrico.....	6
2.1.2 Espectro electromagnético.....	7
2.1.3 Transmisores de radiofrecuencia.....	7
2.1.4 Características técnicas.....	8
• Frecuencia de banda base	8
• Ancho de banda.....	9
• Separación entre portadoras.....	10
• Porcentaje de modulación.....	10
• Potencia efectiva radiada (P.E.R)	10

• Distorsión armónica	11
• Estabilidad de la potencia de salida	11
• Intensidad de campo eléctrico.....	11
• Niveles de emisiones no esenciales	12
• Tolerancia de frecuencia.....	13
2.1.5 Tipos de antenas.....	13
• Monopolo	14
• Dipolo elemental	14
• Yagi.....	15
• Arreglo de antenas.....	16
2.1.6 Parámetros de las antenas.....	16
• Impedancia	17
• Directividad	17
• Ganancia.....	18
• Ancho de banda.....	18
• Densidad de potencia radiada	18
• Patrón de radiación	19
• Polarización	19
• Potencia total de radiación.....	20
2.1.7 Propagación de ondas RF.....	20
• Propagación por onda directa	20
• Propagación por onda de superficie.....	21
• Parámetros de propagación.....	22
• Potencia isotrópica radiada equivalente.....	22
• Pérdida básica de propagación.....	22
2.1.8 Radiodifusión FM.	23
• Estación de radiodifusión	23
• Estaciones de frecuencia modulada en la ciudad de Guayaquil.....	23

• Distribución del espectro FM en la ciudad de Guayaquil	24
2.1.9 Sistema de transmisión.....	24
• Transmisor	24
• Línea de transmisión.....	24
• Antena.....	25
• Equipos de estudio.....	25
• Ubicación de la estación	25
• Instalación de las estaciones	26
2.2 Marco Jurídico	26
2.2.1 Organismos reguladores	26
2.2.2 Normas y recomendaciones de transmisión en FM.	26
• Normas nacionales según la ARCOTEL	26
• Normas internacionales según la UIT	27
2.2.3 Incumplimiento y sanciones	28
CAPÍTULO 3.....	29
3. MEDICIONES DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS.....	29
3.1 TRANSMISOR FM	29
3.1.1 Etapas del transmisor.....	29
3.1.2 Interfaz de entrada y ajustes de nivel de audio	30
3.1.3 Modulador FM	30
3.1.4 Etapa de pre-amplificación	30
3.1.5 Amplificador de potencia	31
3.1.6 Interfaz de salida y filtros.....	31
3.1.7 Monitoreo y control del transmisor	31
3.2 Diseño de emisora radial eficiente ESPOL FM.....	32
3.3 MEDICIONES DE PROPAGACIÓN	38
3.3.1 Enlace Estudio Espol – Cerro Azul.....	38
• Perfil topográfico	38
• Radio enlace estudio Espol – Cerro Azul.....	40

• Arreglo de antenas.....	41
• Perdidas en el espacio libre	42
• Nivel de recepción.....	42
• Patrón de radiación de la antena	43
3.3.2 SISTEMA TRANSMISOR ESPOL FM.....	44
• Especificaciones técnicas	44
• Arreglo de antenas.....	45
• Área de cobertura	45
• Intensidad de campo eléctrico	47
• Potencia efectiva radiada (P.E.R.)	48
• Ganancia de la antena	49
• Pérdidas de línea	49
• Azimuth e inclinación de la antena.....	49
• Patrón de radiación	50
3.4 MEDICIONES DE CAMPO Y LABORATORIO DEL TRANSMISOR RF	50
3.4.1 Señal portadora.....	51
3.4.2 Frecuencia piloto y nivel de 38KHz	52
3.4.3 Niveles de armónicos	53
3.4.4 Componente espectral	59
• Canal derecho.....	60
• Canal izquierdo	60
3.4.5 Pruebas de emisión guiadas	61
• Modo estereofónico.....	61
• Modo monofónico.....	64
3.4.6 Estabilidad de potencia con variaciones de temperatura	66
• Temperatura 21°C.....	66
• Temperatura 50°C.....	67
3.4.7 Estabilidad de portadora con variaciones de temperatura ...	68
• Temperatura 21°C.....	68

• Temperatura 50°C.....	68
3.4.8 Ancho de banda	69
3.4.9 Estabilidad de frecuencia respecto al voltaje de línea	70
3.4.10 Estabilidad de potencia de salida respecto al voltaje de línea 70	
3.4.11 Voltajes y corrientes del amplificador final.....	71
CAPÍTULO 4.....	73
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	73
4.1 Análisis de resultados.....	73
4.1.1 Estabilidad del equipo.	73
4.1.2 Cumplimiento de la normativa vigente	75
4.1.3 Eficiencia del equipo	75
4.1.4 Cobertura de la emisora radial.	76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Distribución del espectro radioeléctrico	7
Figura 2.2 Diagrama de bloques de un transmisor FM	8
Figura 2.3 Ancho de banda.....	9
Figura 2.4 Monopolo vertical.....	14
Figura 2.5 Dipolo elemental	15
Figura 2.6 Antena yagi.....	16
Figura 2.7 Directividad de antenas típicas	17
Figura 2.8 Diagrama de radiación.....	19
Figura 2.9 Polarización lineal, elíptica y circular	20
Figura 2.10 Propagación por onda directa.....	21
Figura 2.11 Propagación por onda de superficie	21
Figura 3.1 Diagrama de bloques.....	29
Figura 3.2 Perfil topográfico del enlace.....	39
Figura 3.3 Perfil Topográfico del enlace visto en Google Earth	39
Figura 3.4 Radio enlace transmisor – receptor	40
Figura 3.5 Parámetros de propagación del radio enlace	42
Figura 3.6 Patrón de radiación de la antena transmisora del radio enlace ...	43
Figura 3.7 Área de cobertura del sistema radiante	46
Figura 3.8 Área de cobertura ciudad de Guayaquil y alrededores	46
Figura 3.9 Patrón de radiación del sistema radiante.....	50
Figura 3.10 Portadora modo monofónico.....	51
Figura 3.11 Portadora modo estereofónico.....	52
Figura 3.12 Frecuencia piloto y nivel de los 38kHz.....	53
Figura 3.13 Frecuencia fundamental.	54

Figura 3.14 Segundo armónico.....	54
Figura 3.15 Tercer armónico.....	55
Figura 3.16 Cuarto armónico	55
Figura 3.17 Quinto armónico.....	56
Figura 3.18 Sexto armónico.....	56
Figura 3.19 Séptimo armónico	57
Figura 3.20 Octavo armónico.....	57
Figura 3.21 Noveno armónico.....	58
Figura 3.22 Décimo armónico	58
Figura 3.23 Componente espectral canal derecho	60
Figura 3.24 Componente espectral canal izquierdo.....	60
Figura 3.25 Emisión guiada modo estereofónico con span de 500 kHz	62
Figura 3.26 Emisión guiada modo estereofónico con span de 1.2MHz	62
Figura 3.27 Emisión guiada modo estereofónico con span de 20 MHz	63
Figura 3.28 Emisión guiada modo monofónico con span de 10 MHz	64
Figura 3.29 Emisión guiada modo monofónico con span de 1.2 MHz	64
Figura 3.30 Emisión guiada modo monofónico con span de 500 kHz	65
Figura 3.31 Potencia con temperatura de 21°C	66
Figura 3.32 Vatímetro marcando una potencia de 300 W.....	66
Figura 3.33 Potencia con temperatura de 50°C	67
Figura 3.34 Vatímetro con potencia de 298 W	67
Figura 3.35 Portadora con temperatura de 21°C	68
Figura 3.36 Portadora con temperatura de 50°C	68
Figura 3.37 Ancho de banda con música de nivel normal	69
Figura 3.38 Ancho de banda con música de nivel ruidoso.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Distribución del espectro radioeléctrico.....	6
Tabla 2.2 Niveles de recepción de intensidad de campo.....	12
Tabla 2.3 Precisiones de intensidad de campo.....	12
Tabla 3.1 Ubicación del estudio Espol FM.....	32
Tabla 3.2 Ubicación de transmisor y receptor de enlace	33
Tabla 3.3 Características de la antena de radio enlace	34
Tabla 3.4 Ubicación del sistema radiante	35
Tabla 3.5 Características del sistema radiante	36
Tabla 3.6 Parámetros eléctricos del radio enlace	41
Tabla 3.7 Niveles de recepción y ganancia de las antenas	43
Tabla 3.8 Especificaciones técnicas del sistema radiante	44
Tabla 3.9 Azimuth y especificaciones de la antena del sistema radiante	44
Tabla 3.10 Altura efectiva y ganancia de antena	45
Tabla 3.11 Niveles de recepción.....	47
Tabla 3.12 Evaluación del campo eléctrico.....	48
Tabla 3.13 Ganancia de antena del enlace y sistema radiante	49
Tabla 3.14 Frecuencias con su respectivo nivel de armónicos.....	59
Tabla 3.15 Frecuencia con variaciones de voltaje de línea	70
Tabla 3.16 Potencia con variaciones de voltaje de línea	71
Tabla 4.1 Frecuencia con variaciones de temperatura	73
Tabla 4.2 Frecuencia con variaciones de voltaje de línea	74
Tabla 4.3 Potencia RF con variaciones de temperatura	74
Tabla 4.4 Potencia RF con variaciones de voltaje de línea	75

CAPÍTULO 1

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1. Descripción del Problema.

En la actualidad existe un gran número de emisoras de radiodifusión transmitiendo en la ciudad de Guayaquil que utilizan equipos transmisores de fabricación internacional, de gran costo, poca eficiencia y con fallas al momento de trabajar debido a su mal manejo y tiempo de uso, esto provoca una inestabilidad en la frecuencia, baja calidad de transmisión e interferencia en bandas de frecuencia no permitidas para transmitir, lo cual conlleva a los organismos reguladores a imponer sanciones y multas económicas por el incumplimiento de la Normativa Técnica establecida, mal uso del espectro radioeléctrico y no ser amigables con el medio ambiente [1].

La tecnología que generalmente usan estos equipos de transmisión de años anteriores es la de transistores bipolares o la valvular, las cuales no son muy eficientes y al momento de transmitir al medio generan problemas o en otros casos el comprador del equipo no tiene conocimiento alguno de su correcta calibración o programación dependiendo el caso, generando que en algún fallo del equipo no se obtenga una respuesta inmediata de solución [1].

El campus Gustavo Galindo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral cuenta con el servicio de televisión abierta llamado Espol TV y posee un nombre concesionado para radiodifusión llamado Espol FM, lamentablemente no se hace uso de Espol FM debido a que no posee una implementación de una emisora radial en frecuencia modulada que cuente con una cobertura de las zonas principales de la ciudad y sus alrededores de donde son proveniente la mayoría de sus estudiantes.

Es muy importante para Espol dar a conocer las diferentes actividades, eventos y avances tecnológicos que sucedan dentro del campus, teniendo comunicada a la sociedad de los diversos servicios, carreras y beneficios que se tiene al

ingresar a esta prestigiosa universidad, no solo mediante la televisión sino también mediante la radio, teniendo un espacio de debate, opinión, crítica, e información para llegar a un fin o solución común.

Las problemáticas anteriormente mencionadas junto a la escasez de espectro y ancho de banda para Radiodifusión, nos inclina a buscar nuevas alternativas para comenzar a pensar en la fabricación nacional de un transmisor RF y la implementación de una emisora radial para el campus mediante el uso de tecnologías de última generación cumpliendo los parámetros de transmisión establecidos en la Normativa Técnica para Radiodifusión 0061 de la Arcotel [2].

1.2. Justificación.

Con el fin de siempre estar mejorando la calidad de los servicios y ayudar al estudiante en su formación como profesional dándole la mayor cantidad de herramientas que pueda aprovechar y ya que la Espol tiene una concesión vigente es importante realizar un diseño de una emisora radial sonora en frecuencia modulada cumpliendo normas nacionales e internacionales [3].

Actualmente en el país se ha visto la necesidad de tener un espectro más limpio y óptimo, por lo cual se ha visto en la necesidad de exigir a los dueños de frecuencias licenciadas una mejor calidad a la hora de transmitir y que cumplan con todos los parámetros establecidos a la hora de hacerlo. Para esto se creó el concurso público de frecuencias de Radio y Televisión en señal abierta, en este concurso dueños de frecuencias de Radiodifusión se vieron forzados a realizar estudios de Ingeniería para poder seguir con su frecuencia o en caso contrario la perderían [4]

Como la mayoría de las radios transmiten con equipos muy antiguos, estos no cumplen con las normas de regularización asignadas por Arcotel, por lo cual tuvieron que actualizar algunos de sus equipos a tecnologías de última generación para que sus estudios de Ingeniería tuvieran una buena puntuación y así poder seguir transmitiendo en su frecuencia [5].

Uno de los principales problemas al usar equipos antiguos de transmisión es la inestabilidad de la frecuencia, por lo cual, al transmitir generan interferencia en

emisoras vecinas, ruido excesivo, consumo excesivo de energía e interferencia en zonas del espectro que no está permitido, esto es debido a las altas armónicas que producen estos equipos.

Al ver este problema, de equipos de tecnología antigua en el país y de una respuesta a largo plazo cuando estos equipos dejaban de funcionar en las radios ya que como los equipos son de fabricación en el exterior, habían pocas personas las cuales sabían el manejo y configuración de estos equipos, la compañía Aletel S.A. pensó en fabricar el primer transmisor de Radiofrecuencia hecho en el país, el cual cuenta con tecnología de última generación con el uso de mosfet y con una eficiencia muy alta.

El uso de la tecnología mosfet en este transmisor nos permite tener un consumo energético muy bajo, una eficiencia de aproximadamente el 83% y una calidad de transmisión muy alta, además cabe recalcar que este transmisor tiene un costo muy bajo.

El Plan Nacional de Frecuencia establece el espectro de Radiofrecuencia sonora FM en el país desde la frecuencia de 88 MHz hasta la frecuencia de 108 MHz, cada emisora de radio debe tener una separación de frecuencia adyacente de 400kHz, y un ancho de banda al modular de 220kHz con un rango de error de 5%, eso nos dice que el ancho de banda al transmitir no puede excederse de 231kHz. En la actualidad las mediciones realizadas por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones indican que la mayoría de emisoras de Radiodifusión no cumplen con este requisito, por lo cual se imponen sanciones y aun así se sigue reiterando este problema, esto sucede principalmente por la antigüedad de los equipos que se utilizan actualmente en el país, los cuales al transmitir producen una sobre-modulación creando interferencias en diferentes bandas de frecuencia [6].

1.3. Solución propuesta.

Dando una solución a la problemática antes mencionada, se propone realizar el diseño y análisis de una emisora radial para el Campus Gustavo Galindo brindando cobertura en la ciudad de Guayaquil y sus alrededores, mediante el uso de equipos de fabricación nacional, los cuales cumplen con la normativa

técnica vigente impuesta por la Arcotel y cuyos parámetros de funcionamiento se encuentran en niveles apropiados.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo general.

Diseñar y analizar los resultados de eficiencia, parámetros técnicos del uso de los equipos de fabricación nacional por la empresa Aletel S.A. cumpliendo las normativas técnicas nacionales e internacionales de una emisora radial para el campus Gustavo Galindo Espol que brinde cobertura a Guayaquil y sus alrededores.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Revisar las leyes que reglamentan o norman el uso del espectro para Radiodifusión; así como sus entes reguladores.
- Asegurar al Radio Operador mediante software con un estudio de ingeniería que exista cobertura en Guayaquil y sus alrededores cumpliendo parámetros de las normativas vigentes.
- Realizar mediciones en campo y laboratorio de los parámetros de Radiofrecuencia tomando en cuenta su exactitud, propiedades y eficiencia según normas internacionales y normas ecuatorianas.
- Analizar comparativamente los resultados de los equipos con respecto a los parámetros técnicos de la normas nacionales e internacionales, transmitiendo y modulando en la frecuencia central 98.1 MHz.

1.5. Metodología.

El procedimiento para alcanzar los objetivos planteados será realizado en cuatro partes principalmente las cuales se detallan a continuación:

- Realizar un estudio de los diferentes servicios que se ofrecen, cuáles son las normas que rigen sobre el rango de frecuencias asignado y

cuáles son las normas técnicas de transmisión y medición de los niveles de señal de acuerdo con la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y las normas legales ecuatorianas establecidas por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL).

- Observar mediante las mediciones de transmisión que no exista distorsión armónica, espurias o alguna interferencia en bandas que no competen al rango de 88MHz a 108MHz asegurando que se cumplan las normas establecidas.
- Realizar las mediciones de los parámetros de transmisión de los equipos de Radiofrecuencia como lo son la Potencia del equipo, desviación de frecuencia, estabilidad de frecuencia, índice de modulación, Estabilidad de Potencia, Intensidad de Campo, Estabilidad del transmisor a cambios de Temperatura, de Tecnología Mosfet, así como el transmisor de Tecnología de Transistores Bipolares modulando en el rango de frecuencias de 88MHz a 108MHz mediante el uso de equipos de Telecomunicaciones.
- Realizar el análisis de los resultados obtenidos mediante las mediciones del equipo de transmisión, seguido de esto se procederá a compararlos con las normas internacionales y las normas ecuatorianas revisando que se cumplan todos los parámetros y así asegurarnos que todo se encuentre acorde a las normas.

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y JURÍDICA.

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Espectro radioeléctrico.

El Espectro radioeléctrico es un subconjunto de ondas electromagnéticas o también llamadas ondas hertzianas que van en un rango desde los 3KHz hasta por debajo de los 3000GHz las cuales se propagan por el espacio sin ayuda de una guía artificial [7].

La Constitución de la República del Ecuador lo considera como un recurso natural limitado, inalienable, indescriptible y de gran importancia debido a que, por este medio, es posible brindar una gran variedad de servicios de telecomunicaciones que ayudan al creciente desarrollo tanto social como económico en el país [7].

El espectro radioeléctrico se encuentra subdividido en nueve bandas de frecuencias, como se muestra en la tabla 2.1:

No. Banda	Simbología	Denominación	Rango de Frecuencias
4	VLF	Very Low Frequency	3 – 30 KHz
5	LF	Low Frequency	30 – 300 KHz
6	MF	Medium Frequency	300 – 3000 KHz
7	HF	High Frequency	3 – 30 MHz
8	VHF	Very High Frequency	30 – 300 MHz
9	UHF	Ultra High Frequency	300 – 3000 MHz
10	SHF	Super High Frequency	3 – 30 GHz
11	EHF	Extremely High Frequency	30 – 300 GHz

Tabla 2.1 Distribución del espectro radioeléctrico [7].

2.1.2 Espectro electromagnético.

Primero vamos a definir lo que es una onda electromagnética que es la propagación del campo eléctrico y magnético a la vez producidos por una carga eléctrica en movimiento, y al flujo de energía producida por una fuente en forma de ondas electromagnéticas se la denomina radiación electromagnética con esto llegamos a la definición de espectro electromagnético que es el conjunto de todas las frecuencias que producen radiación electromagnética [8].

Con esto en telecomunicaciones variando y modulando de una manera controlada la amplitud, fase o frecuencia de las ondas electromagnéticas; se puede transmitir información por medio de medios guiados como cable coaxial, par trenzado, fibra óptica, etc. y por medios no guiados como el aire o el vacío [8].

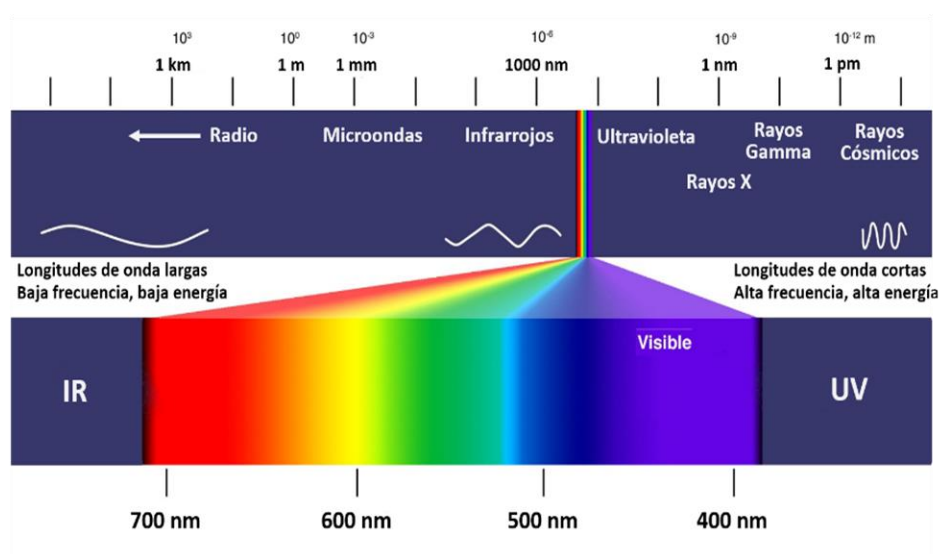


Figura 2.1 Distribución del espectro radioeléctrico [8].

2.1.3 Transmisores de radiofrecuencia.

Un transmisor es una unidad electrónica que toma la información que se va a enviar, la convierte en una señal de RF y la transmite a través de una antena hasta los lugares a los cuales se desea recibir la señal, en

su gran mayoría son utilizados en las bandas de frecuencia de VHF y UHF [9].

Las tres funciones básicas del transmisor son:

- Generar la señal de la frecuencia en el espectro radioeléctrico.
- Modular la señal.
- Amplificar la potencia para que el nivel de señal sea alto para poder cubrir los lugares deseados.

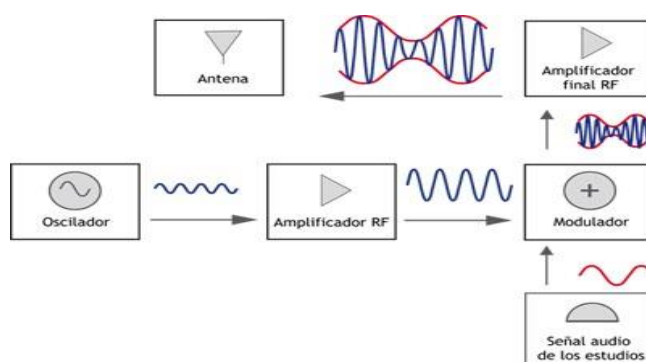


Figura 2.2 Diagrama de bloques de un transmisor FM [9].

2.1.4 Características técnicas.

En el siguiente apartado detallaremos las diferentes características y parámetros técnicos que se deben cumplir mediante la Normativa para Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada de la Resolución 0061 impuesta por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (Arcotel).

- **Frecuencia de banda base**

Frecuencias de banda base son aquellas que no sufren ningún tipo de modulación a la salida de la fuente, es decir no requieren una adaptación al medio en que se van a transmitir por lo que se transmiten en frecuencia original.

Según la norma técnica vigente para radiodifusión dispuesta por la Arcotel el rango de frecuencias va desde los 50Hz hasta 15 KHz. Consecuentemente a este rango son frecuencias bajas por lo que sería imposible transmitirlos por radio ya que necesitaríamos antenas de dimensiones inmanejables.

La solución a este problema es la modulación donde se transmite varias señales banda base desplazándolas en diferentes frecuencias para que no interfieran entre sí convirtiéndolas en señales paso banda así se puede permitir el uso de antenas con dimensiones adecuadas [10].

- **Ancho de banda**

El ancho de banda es la diferencia entre frecuencias, en la cual se localiza la mayor parte de la potencia, para mediciones correspondientes de ancho de banda hacemos uso de la recomendación 1.152 del Artículo 1 de la UIT-R en la cual nos indica la manera de medir el ancho de banda, la principal es la siguiente:

“Ancho de banda necesaria: Para una clase de emisión dada, anchura de la banda de frecuencias estrictamente suficiente para asegurar la transmisión de la información a la velocidad y con la calidad requeridas en condiciones especificadas.” [11].

Según la norma establecida por la Arcotel, el ancho de banda para estereofónico es de 220kHz mientras que para monofónico es de 180kHz, ambos con una tolerancia de $\pm 5\%$ [12].

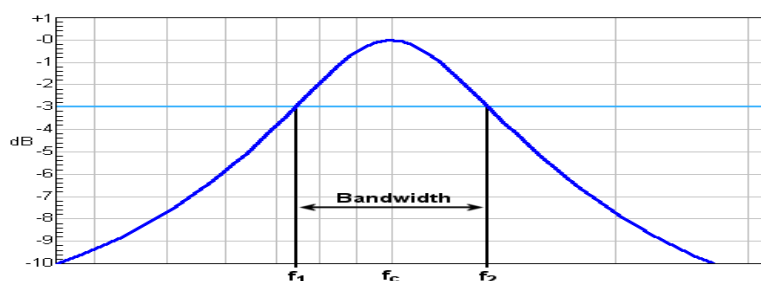


Figura 2.3 Ancho de banda [11].

- **Separación entre portadoras**

La separación entre portadoras según la norma nacional vigente dispuesta por la Arcotel [13] se determinará por los grupos de frecuencias correspondientes, dependiendo de su área de operación independiente o zona geográfica.

- **Porcentaje de modulación**

Se define el porcentaje de modulación como la razón entre la desviación de frecuencia real y la máxima desviación de frecuencia permitida por la ley, por 100%. Se expresa de la siguiente forma:

$$\%modulación = \frac{\Delta f_{(real)}}{\Delta f_{(max)}} \times 100\% \quad (2.1)$$

Según la norma técnica vigente, los sistemas estereofónicos o monofónicos no deben exceder el 100% en las crestas de recurrencia frecuente, si utilizan una sub-portadora, estos no deben exceder el 95% y si utilizan dos o más sub-portadoras no debe exceder el 100% [14].

La norma de Recomendación UIT-R en su artículo BS.450-3 nos indica que el máximo valor para desviación de frecuencia en Ecuador es de $\pm 75\text{KHz}$ [15]

- **Potencia efectiva radiada (P.E.R)**

La potencia efectiva radiada también conocida como P.E.R, es aquella potencia que verdaderamente se encuentra radiando la antena en combinación con la potencia que entrega el transmisor [16].

La normativa técnica según la Arcotel nos indica que será medida en Vatios y se obtendrá mediante la siguiente fórmula matemática:

$$P.E.R. (KW) = P_T(kW) * 10^{\left[\frac{G(dBd)-Pérdidas(dB)}{10}\right]} \quad (2.2)$$

Donde P_t es la potencia que entrega el transmisor, G es la ganancia del arreglo o sistema radiante y las pérdidas correspondientes a conectores, líneas de transmisión entre otros [17].

- **Distorsión armónica**

La distorsión armónica es la variación de la señal de salida con respecto a su señal de entrada. Las armónicas se originan en el transmisor, estos pueden ser medidos en múltiplos de su frecuencia central [18].

Las armónicas pueden causar interferencias en bandas adyacentes, así como también en frecuencias que están transmitiendo en dicha frecuencia.

Según la norma técnica vigente la distorsión armónica no deberá exceder del 0.5% con una modulación del 100% para frecuencias que se encuentren en el rango de entre 50 y 15.000 Hz [19].

- **Estabilidad de la potencia de salida**

La potencia de salida debe tener ciertos parámetros de estabilidad y protección, la norma nos indica que se deberán instalar equipos adecuados para lograr compensar variaciones que podrían provocar las líneas de tensión u otras casusas. El valor de la estabilidad de la potencia de salida no deberá ser menor al 95% [20].

- **Intensidad de campo eléctrico**

Para la medición de la intensidad de campo eléctrico se debe tomar como referencia un punto a un nivel de 10 metros sobre el suelo. Para

un mejor análisis se realiza un muestreo alrededor del sistema radiante en un rango de kilómetros dependiendo de la estación radial, estos valores de intensidad de campo nos indican las delimitaciones del área de cobertura de la estación radial en FM.

La normativa vigente nos indica que los niveles de campo eléctrico aceptables para un buen nivel de recepción en estaciones de potencia normal y locales son los siguientes: [21]

En el Borde del área de cobertura principal	Monofónicos	$\geq 48 \text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$
	Estereofónicos	$\geq 54 \text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$
En el borde del área de cobertura secundaria	Monofónicos	$\geq 30 \text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ y $< 48 \text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$
	Estereofónicos	$\geq 50 \text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ y $< 54 \text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$

Tabla 2.2 Niveles de recepción de intensidad de campo [21].

La UIT-R en la recomendación SM.378-7 especifica las precisiones cuando se mide la intensidad de campo eléctrico que se detallan en la siguiente tabla: [22]

Banda de Frecuencias	Precisión (dB)
9kHz – 30 MHz	± 2
30 MHz – 3 GHz	± 3

Tabla 2.3 Precisiones de intensidad de campo [22].

- **Niveles de emisiones no esenciales**

En la recomendación de la UIT-R SM.329-7 se define como emisiones de frecuencias que se encuentran fuera de la anchura de banda necesaria y que cuyos niveles se pueden disminuir para no afectar la transmisión. Las emisiones no esenciales comprenden: las emisiones armónicas, parásitas, los productos de intermodulación y

de conversión de frecuencia, pero están excluidas las emisiones fuera de banda [23].

Según la norma técnica vigente para radiodifusión sonora dispuesta por la Arcotel estas emisiones deben ser atenuadas en por lo menos 80dB por debajo de la potencia media del ancho de banda autorizado y con una modulación del 100%. En modulación de frecuencia la amplitud de la señal no varía con el tiempo por lo que la potencia media es equivalente a la potencia pico o de cresta.

- **Tolerancia de frecuencia**

La tolerancia de frecuencia nos indica la máxima variación de frecuencia que debe tener la portadora principal, según la normativa vigente nos indica que no deberá exceder de $\pm 2\text{KHz}$ [24].

Otra forma de expresar la tolerancia de frecuencia es en partes por millón (ppm) esto lo realizamos con la siguiente formula:

$$\text{Tolerancia de frecuencia} = \frac{f_2 - f_1}{f_1} \times 10^6 \quad (2.3)$$

En donde f_2 corresponde a la frecuencia de portadora en MHz medida por el analizador de espectro y f_1 corresponde a la frecuencia asignada en MHz por la entidad reguladora.

2.1.5 Tipos de antenas.

Una antena es un conductor metálico capaz de radiar y capturar ondas electromagnéticas estando situada con la dimensión y dirección apropiada; como la antena está en el aire recibe todo tipo de ondas electromagnéticas, pero solo la hará resonar la señal cuya longitud de onda coincida con las dimensiones de la antena [25].

Las antenas se las usan para conectar las líneas de transmisión con el espacio libre y viceversa en caso de una antena receptora, es decir las

antenas convierten la energía eléctrica de una línea de transmisión en ondas electromagnéticas para que puedan ser radiadas en espacio libre esto en una antena de transmisión por lo contrario en el receptor la antena convierte las ondas electromagnéticas en energía eléctrica para la línea de transmisión.

- **Monopolo**

Es la mitad de un dipolo y está compuesta por una varilla conductora de longitud $\lambda/4$. La antena monopolo es omnidireccional está directamente relacionada con la de una antena dipolo. Debido a que tiene la mitad de la longitud que un dipolo por lo que necesita la mitad de voltaje para inducir la misma cantidad de corriente en la varilla debido a esto posee la mitad de la impedancia de entrada del dipolo y el doble de la ganancia es decir 3 dB. [26]

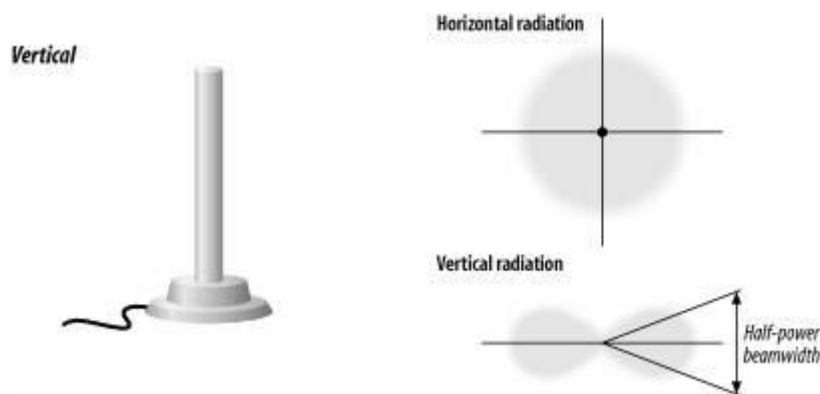


Figura 2.4 Monopolo vertical [26].

- **Dipolo elemental**

Se lo conoce como el tipo de antena más básico. Un dipolo elemental es recorrido por una corriente uniforme en toda su longitud y se tiene la máxima radiación en ángulo recto con el dipolo. Es eléctricamente

corto porque cualquier dipolo que sea menor a un décimo de media longitud de onda se lo considera así. Toda antena que trabaje a frecuencias menores a 1 MHz se las conoce como dipolos elementales ya que a esa frecuencia su longitud de onda es de 300 metros. [27]

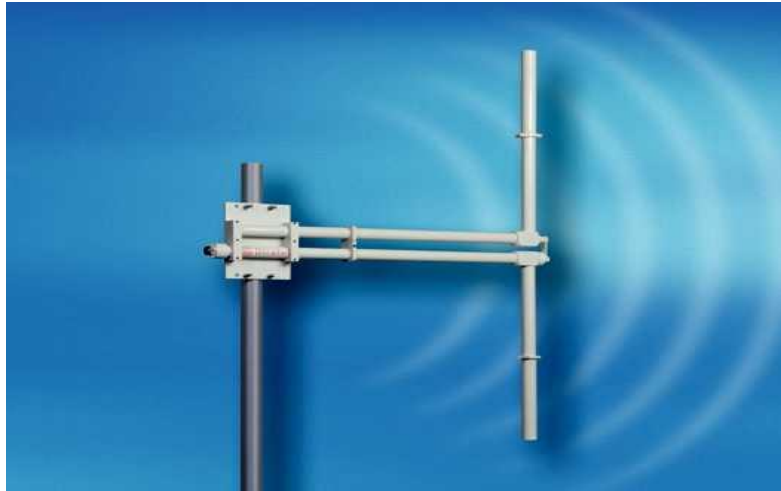


Figura 2.5 Dipolo elemental [27].

- **Yagi**

Esta antena tiene una mayor ganancia que el dipolo, pero ofrecen mayor flexibilidad con respecto a la orientación de la antena. Está conformada por un dipolo que es el elemento excitado que va conectado a la línea de transmisión al que se le añaden 2 o más elementos parásitos: un reflector y dos o más elementos directores. A mayor número de elementos tendremos mayor ganancia y si queremos un mayor ancho de banda se tiene que usar un dipolo doblado. [28]

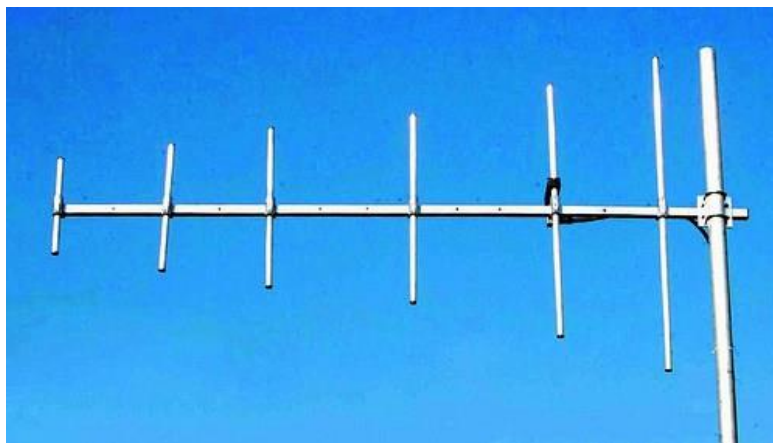


Figura 2.6 Antena yagi [28].

- **Arreglo de antenas**

En ciertas aplicaciones se necesitan directividades elevadas y esto se logra con más de un elemento radiante por lo que se necesitaría más de una antena; ahí es donde nace el arreglo de antenas.

Un arreglo de antenas se conoce como a un grupo de antenas idénticas unidas generalmente con un fin igual para lo cual son direccionadas físicamente en una posición determinada.

Para lograr patrones de radiación predefinidos con características que no se lograrían con una sola antena se configura múltiples antenas idénticas separadas una distancia fija donde se puede manipular la corriente por lo cual su fase y así cambiando el patrón de radiación al que se necesite [29]

2.1.6 Parámetros de las antenas.

La antena es muy importante en un sistema de comunicaciones por lo que es necesario conocer sus principales parámetros, estos permiten especificar el funcionamiento de las antenas. Es responsabilidad del ingeniero conocer y elegir el conjunto de parámetros adecuados para que cumplan con todos los requisitos de un radioenlace dado. Tenemos

parámetros de tipo circuital, parámetros específicos para transmisión o recepción y direccional [30].

- **Impedancia**

El punto de alimentación de una antena es donde se conecta la antena a la línea de transmisión. Cuando en el punto de alimentación tenemos conectada una carga de circuito abierto a la línea de transmisión esto se conoce como impedancia de entrada y para cuantificar dicha impedancia se divide el voltaje de entrada a la antena para la corriente de entrada a la antena [30].

- **Directividad**

La concentración de intensidad de radiación en una determinada dirección del espacio que tiene una antena se la conoce como directividad. Esta magnitud representa la capacidad que tiene una antena en concentrar la intensidad de radiación en una determinada dirección del espacio, con lo que se convierte en una figura de mérito de su direccionalidad, siendo mayor cuanto más estrecho sea su haz principal. La figura de mérito tiene que ser mayor que uno o igual en el caso ideal de una antena isótropa [31].

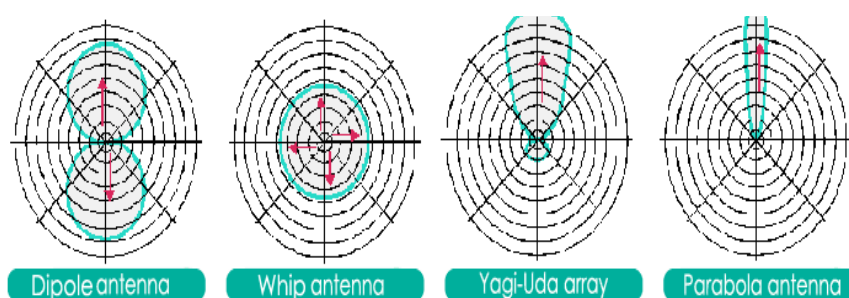


Figura 2.7 Directividad de antenas típicas [31].

- **Ganancia**

La ganancia se la puede definir como la relación entre la intensidad de radiación en una dirección y la intensidad de radiación de una antena isótropa (distribuye la intensidad de radiación de manera uniforme en todas las direcciones del espacio) es decir que radiara la misma potencia total.

Se podría generar similitud de conceptos entre ganancia y directividad, pero directividad se trata de la capacidad que tiene una antena en captar la intensidad de radiación en una dirección determinada del espacio por lo que tenemos que es una figura de mérito de su direccionalidad [32].

- **Ancho de banda**

Se denomina como ancho de banda al intervalo de frecuencias donde los parámetros antes mencionados (impedancia, ganancia, patrón de radiación, etc.) cumplen con las especificaciones de la antena ya sea para transmisión o recepción.

Generalmente el ancho de banda se calcula como un porcentaje donde se restan la frecuencia de potencia máxima con la frecuencia de potencia mínima y se la divide para frecuencia óptima de operación [33].

- **Densidad de potencia radiada**

Se define como densidad de potencia radiada a la potencia por unidad de superficie en una determinada dirección. Las unidades son en vatios por metro cuadrado y se puede calcular a partir de los valores eficaces de los campos eléctrico y magnético [34].

- **Patrón de radiación**

Una antena es capaz de dirigir la energía en determinadas direcciones del espacio según la geometría, dimensión o forma de excitación posea es decir una antena no radia de igual modo en todas las direcciones del espacio. Para poder observar de una manera gráfica las propiedades direccionales y características de radiación de una antena usamos el diagrama de radiación [35]. Nos encontraremos con una gran variedad de diagramas entre los más utilizados tenemos:

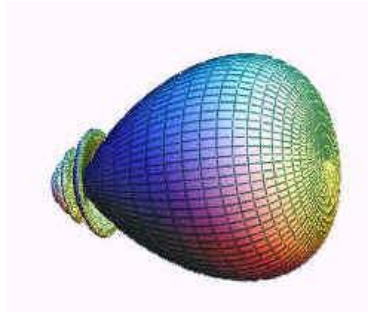


Figura 2.8 Diagrama de radiación [35].

- **Polarización**

Se conoce como polarización de una antena a la orientación del campo eléctrico que se irradia de ella en una dirección del espacio dado. Una antena puede estar polarizada linealmente vertical u horizontal, elípticamente o circularmente. Si una antena irradia una onda horizontal se dice que está horizontalmente polarizada, en el caso de que irradie una onda vertical se dice que está verticalmente polarizada, si el campo está girando en el plano formando una elipse tenemos una antena polarizada elípticamente y si el campo eléctrico gira circularmente la antena está polarizada circularmente [36].

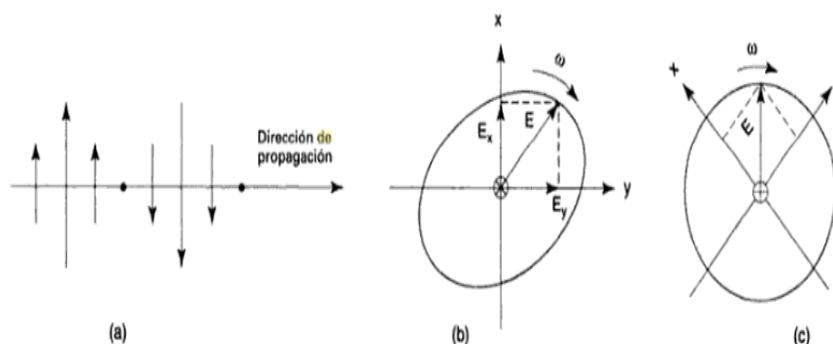


Figura 2.9 Polarización lineal, elíptica y circular [36]

- **Potencia total de radiación**

La potencia total radiada por una antena se calcula integrando la intensidad de radiación en todas las direcciones del espacio. Para facilidad de cálculos se emplea el sistema de coordenadas esférico [37].

2.1.7 Propagación de ondas RF.

La propagación de las ondas RF comprende una parte importante al momento de transmitir la onda, los tipos de propagación de onda más importantes se detallan en el siguiente apartado.

- **Propagación por onda directa**

La propagación por onda directa es muy utilizada en servicios de comunicaciones como lo son la radiodifusión y la televisión, esto quiere decir que este tipo de propagación se utiliza en un rango de frecuencia mayor a 30MHz. Una de las ventajas que posee es que entre el transmisor y el receptor tienen línea de vista directa pero una contraparte es que solo tienen un alcance de entre 30 a 100Km por lo que se necesitará el uso de repetidores para poder llegar a distancias mayores [38].

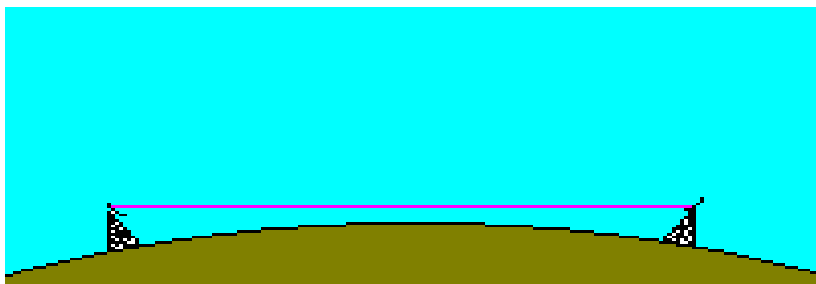


Figura 2.10 Propagación por onda directa [38].

La transmisión por propagación de onda directa depende de las características del terreno ya que se puede transmitir ya sea de forma directa o por onda reflejada, por lo cual entra en juego la longitud de onda y el alcance [38].

- **Propagación por onda de superficie**

La propagación por onda de superficie se caracteriza principalmente por ser una propagación a ras de tierra, es muy utilizada en las bandas de LF y HF (30 kHz a 3MHz) en los servicios de telegrafía y radiodifusión debido a su largo alcance.

En este tipo de propagación no existe la línea de vista directa por lo que dependen de las propiedades eléctricas del terreno que equivale a un plano conductor que modifica las características de radiación, su ancho de banda es reducido y sus antenas monopolo no se encuentran eléctricamente elevadas las cuales irradian potencias muy elevadas [39].



Figura 2.11 Propagación por onda de superficie [39].

- **Parámetros de propagación**

En el siguiente apartado se detallan los diferentes parámetros de propagación en la medición de P.I.R.E. y pérdidas básicas de propagación.

- **Potencia isotrópica radiada equivalente**

La potencia isotrópica radiada equivalente, también llamada P.I.R.E., es la potencia transmitida que radiará una antena isótropa la cual distribuye la potencia exactamente igual en todas las direcciones. La P.I.R.E. se expresa en unidades de dBw y su valor es un factor importante en los niveles de recepción de la señal porque esta resulta de la potencia de transmisión y la ganancia de la antena [40].

Se puede expresar en términos de la potencia efectiva radiada mediante la siguiente ecuación:

$$P.I.R.E = P.E.R. + 2.15 \quad (dBd) \quad (2.4)$$

- **Pérdida básica de propagación**

Al momento de transmitir siempre se encontrarán pérdidas tanto en la transmisión como en la recepción las cuales se deben a diferentes factores como conectores, cables, reflexión, refracción, entre otras. La UIT en su recomendación P.525-2 en el caso de enlaces punto a punto nos indica que es preferible calcular la atenuación en espacio libre entre antenas isotrópicas, la cual tiene el nombre de pérdida básica de propagación [41].

Se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$L_{bf} = 32.4 + 20 \log f + 20 \log d \quad (dB) \quad (2.5)$$

Donde:

L_{bf} : Pérdida básica de transmisión en espacio libre (dB)

d : Distancia (Km)

f : frecuencia (MHz)

2.1.8 Radiodifusión FM.

En el siguiente apartado se detallan las diferentes estaciones de radiodifusión en la ciudad de Guayaquil y sus alrededores

- **Estación de radiodifusión**

Una estación de radiodifusión es el conjunto de elementos necesarios para poder transmitir en un área autorizada. Se compone usualmente de un transmisor, una antena, una torre e instalaciones para brindar una programación de FM de calidad previamente aprobada por las entidades nacionales pertinentes.

El esquema de una estación radial se conforma básicamente de una estación matriz la cual es el estudio donde se realiza la programación del día, luego esa información se envía al sistema radiante y este lo transmite al público en general [42].

Se clasifican en dos tipos, una de ellas es la del servicio público la cual son estaciones de radio comunitarias para el uso de la sociedad sin fines de lucro, por otra parte, existe las estaciones privadas las cuales se financian mediante publicidad de diferentes marcas persiguiendo fines de lucro.

- **Estaciones de frecuencia modulada en la ciudad de Guayaquil**

Actualmente en la ciudad de Guayaquil se encuentran transmitiendo un sin número de estaciones radiales comprendidas entre las frecuencias de 88 – 108 MHz. Para esto, las estaciones utilizan una frecuencia de radio enlace para poder conectar su estudio con su

sistema radial, este procedimiento lo realiza mediante la nota EQA.5 establecidas por la Conatel y modificada por la Arcotel.

El número de emisoras radiales actualmente en uso según la Arcotel y la nota EQA.5 para radio enlace de radiodifusión se detalla en el Anexo 1 y Anexo 2 respectivamente

- **Distribución del espectro FM en la ciudad de Guayaquil**

En la ciudad de Guayaquil se encuentra distribuido el espectro en la banda de 88 MHz a 108 MHz como se muestra en el Anexo 3 [44].

2.1.9 Sistema de transmisión.

El sistema transmisor se compone fundamentalmente de:

- **Transmisor**

El transmisor es el dispositivo el cual se encarga de emitir la señal por medio de un medio. En su mayoría los transmisores se utilizan en los servicios que se brindan en las bandas de VHF y UHF las cuales son Radiodifusión y Televisión respectivamente [45].

Según la norma técnica el transmisor debe ajustarse a características autorizadas y deberá contar con instrumentos que ayuden a tener un mejor monitoreo y control de sus parámetros.

Para radiodifusión en FM usualmente se utilizan dos equipos transmisores con el fin de protegerse en caso de un desperfecto del transmisor principal, entraría en funcionamiento el secundario [46].

- **Línea de transmisión**

La línea de transmisión es un dispositivo por el cual se propaga una onda de un lugar hacia otro con la menor pérdida posible.

Las líneas de transmisión que alimentan la antena son las guías de onda o el cable coaxial, el uso de estos dependerá de la frecuencia a la cual se esté trabajando.

Según la norma técnica, se utilizará una guía de onda o cable coaxial que permita un acoplamiento adecuado con el fin de que las pérdidas de potencia sean mínimas [47].

- **Antena**

El funcionamiento principal de la antena en el sistema de transmisión es radiar la señal enviada desde el transmisor a los receptores que se encontrarán en el rango dependiendo del radio de cobertura.

La orientación de esta antena debe estar de manera que pueda cubrir en su radiación la mayor cantidad posible de usuarios, para esto debe estar sintonizada a la frecuencia que se desee transmitir.

La antena debe estar colocada en una torre a una altura prominente para que de tal manera pueda irradiar a sectores establecidos ya sea regional o local [48].

- **Equipos de estudio**

Según la normativa técnica para radiodifusión en FM el concesionario tendrá la total libertad para configurar sus equipos de acuerdo a sus necesidades y también a instalar o modificar todo aquello necesario para que el funcionamiento de la estación sea el correcto [49].

- **Ubicación de la estación**

La ubicación de la estación radial dependerá únicamente del concesionario, este debe encontrar un lugar con una ubicación adecuada, preferiblemente un lugar de una altura prominente, para que en el momento de cubrir con la señal no existan obstáculos que puedan causar pérdidas [50].

- **Instalación de las estaciones**

Para la instalación de las estaciones deberán ser cumplidas las normas y disposiciones indicadas en el contrato de concesión [51].

Se consideran las siguientes estaciones:

- Transmisores
- Estudio Principal
- Estudio Secundario
- Estudio Móvil

2.2 Marco Jurídico

2.2.1 Organismos reguladores

- **Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones ARCOTEL**

Su misión principal es regular el uso del espectro radioeléctrico y los servicios de Telecomunicaciones con el fin de garantizar servicios de calidad al pueblo ecuatoriano.

Como principales funciones está el hacer cumplir las normas establecidas en la ley mediante el monitoreo y control del espectro radioeléctrico generando así un servicio de calidad [52].

2.2.2 Normas y recomendaciones de transmisión en FM.

Las normas y recomendaciones para radiodifusión en FM nos brindan los parámetros a cumplir para un correcto funcionamiento de nuestro sistema.

- **Normas nacionales según la ARCOTEL**

En la actualidad el país ha establecido sus propios modelos de gestión para la comprobación técnica del espectro, estos modelos se basan dentro de los objetivos de la UIT-R, este conjunto de normas tienen como único objetivo el garantizar que los servicios de telecomunicaciones sean eficaces y estén acorde a la necesidad del país [53].

Las normativas técnicas nacionales establecidas por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones tienen como objetivo lo siguiente:

- Obtener información de la utilización del espectro.
- Asignar la eficiente distribución de frecuencias
- Verificar el cumplimiento de los parámetros técnicos.
- Identificar cualquier dispositivo no autorizado y sancionarlo.
- Atender reclamos y consultas

- **Normas internacionales según la UIT**

Para la eficaz distribución y administración del espectro radioeléctrico es de suma importancia conocer cuáles son los parámetros técnicos de operación, por tal motivo existen normas y recomendaciones que nos ayudan a un mejor manejo del espectro. Las recomendaciones y parámetros establecidos por la UIT tienen como objetivo primordial lo siguiente: [54]

- Garantizar la calidad de los servicios de telecomunicaciones.
- Configurar de manera adecuada equipos para su correcta medición
- Determinar de qué manera se encuentran utilizadas las frecuencias y su ocupación.
- Medir de manera adecuada la ocupación del espectro
- Proporcionar los datos y estadísticas para una mejor ocupación espectral.

2.2.3 Incumplimiento y sanciones

Por el incumplimiento de las disposiciones impuestas por el ente regulador nacional en la norma técnica, se procederá a sancionar a aquellas personas que se encuentren infringiendo dicha ley.

Si al concesionario, luego de las mediciones de sus parámetros técnicos, se comprueba que causa interferencia en bandas no estipuladas en su contrato, tendrá como sanción la suspensión de sus servicios de radiodifusión hasta que realice las modificaciones pertinentes y cumpla con los parámetros establecidos

El concesionario antes de instalar una estación radial de FM debe estar informado de las frecuencias que se encuentran disponibles para poder brindar su servicio, en caso de transmitir en una frecuencia asignada a otro concesionario se realizará la respectiva sanción [55].

CAPÍTULO 3

3. MEDICIONES DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS.

3.1 TRANSMISOR FM

3.1.1 Etapas del transmisor

Las etapas del transmisor se detallan en la figura 3.1:

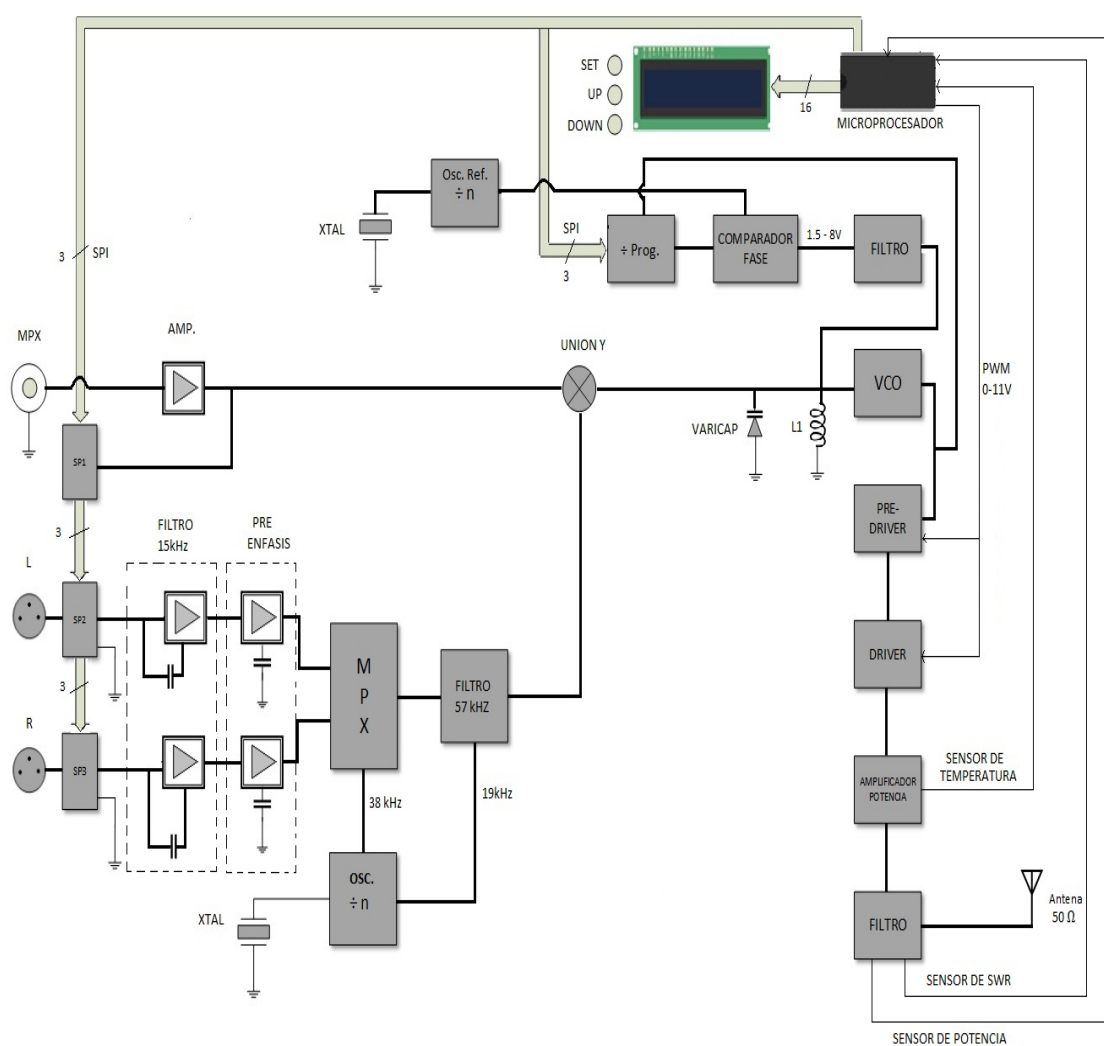


Figura 3.1 Diagrama de bloques

3.1.2 Interfaz de entrada y ajustes de nivel de audio

El transmisor consta de dos interfaces de entrada, una interfaz que es el MPX y una interfaz de audio de línea L y R. Consta de un encoder estéreo en el cual se genera la frecuencia piloto de 19 kHz y 38kHz, los ajustes de nivel de audio los realiza el microprocesador por medio de ajustes digitales por SPI a los controles digitales.

Se pueden ajustar el MPX o los niveles de audio, esto lo realizamos de la siguiente manera:

- Cuando deseamos realizar los ajustes de audio, quito el mute del equipo, lo pongo en modo estéreo y trabajaremos únicamente con el L y R quedando bloqueada la opción de MPX.
- Cuando deseamos realizar ajustes del MPX, lo coloco en modo mono, le pongo mute y automáticamente se bloquean L y R quedando únicamente el MPX para realizar los ajustes de nivel de audio.

3.1.3 Modulador FM

El modulador FM se encuentra conectado directamente mediante una resistencia y un capacitor al varicap del VCO que es de tecnología Mosfet, cumpliendo con la función de variar voltaje y variar frecuencia.

3.1.4 Etapa de pre-amplificación

La etapa de pre-amplificación se encuentra a la salida del VCO excitando al DRIVER de tecnología Mosfet con un nivel de 200 mW. El oscilador controlado por voltaje (VCO) trabaja en la frecuencia fundamental. La cadena divisora trabaja directamente sin pre-escala ya que es un divisor de alta frecuencia y la división se hace desde 880 a 1080

El driver de banda ancha es fabricado con un transistor Mosfet que puede entregar hasta 12W, el equipo de 300 vatios se encuentra configurado para que se entregue máximo 4W.

3.1.5 Amplificador de potencia

El amplificador de potencia se encuentra diseñado para tener una mayor eficiencia, cuenta con transformadores de acoplamiento hechos a base juegos de coaxiales de teflón con recubrimiento de plata en la malla y el conductor central, son juegos de 12.5, 50 y 75 ohmios, con esto se realiza el acoplamiento de impedancia. Está diseñado con un Mosfet doble en push pull

3.1.6 Interfaz de salida y filtros

El filtro de salida para atenuar los armónicos es un Low Pass Filter (LPF) que está diseñado con 4 inductancias y 5 capacitores tipo chip de 1000 V cada uno, en el mismo lugar se encuentra el transformador para extraer la muestra de potencia y la muestra de estacionaria. A la salida tendremos el conector de la antena.

3.1.7 Monitoreo y control del transmisor

Todo el transmisor se encuentra controlado por un microprocesador el cual a través de 3 botones los cuales son: set, up y down se realizan las configuraciones del equipo.

- Podemos subir y bajar niveles de MPX y de L y R.
- Subir y bajar mediante el PWM la potencia.
- Según la temperatura de trabajo el programa está configurado para que cuando pase los 35°C la velocidad de los ventiladores empiece a subir, cuando llegue a los 45°C los ventiladores se pondrán a la máxima velocidad.
- Cuenta con un sistema de protección de onda estacionaria contra temperatura, esto es, si sobrepasa los 50°C automáticamente se dispara con un tiempo de retardo de 10 mseg y se tendrá que realizar un proceso de Reset mediante un técnico del equipo para que este pueda funcionar nuevamente.

- La protección contra estacionaria se repite 3 veces, en la 4ta vez, si continúa apareciendo estacionaria el PWM se va a 0 y muestra una alerta que nos comunica que se necesita asistencia técnica por SWR.
- Consta de un sensor de voltaje, el cual, si los voltajes de línea están por debajo o por encima del valor nominal, el equipo se resetea, se queda en stand-by por un tiempo de 2 minutos y si el voltaje se normaliza vuelve a trabajar normalmente.
- Mediante un puerto serie RS232 podemos conectar una computadora para visualizar toda la información de cuantas veces se ha ido la luz, cuantas veces se ha reseteado por estacionaria, cuantas veces se ha reseteado por temperatura, y ver todos los parámetros máximos y mínimos del equipo de trabajo durante todo el periodo, se puede chequear al año, 6 meses o 4 meses, esa información queda grabada en la memoria del microcontrolador.

3.2 Diseño de emisora radial eficiente ESPOL FM

En el siguiente apartado se procederá a realizar el detalle del diseño de la emisora radial eficiente ESPOL FM el cual se realizó con el programa Radio Mobile y con parámetros reales.

Estudio Espol FM

- **Ubicación**

El Estudio Central en donde se generará la programación para posteriormente ser transmitida estará ubicado en las instalaciones de la Biblioteca Central de la ESPOL en el segundo piso, al interior de la ciudad de Guayaquil – Provincia del Guayas, con las siguientes coordenadas geográficas:

ESTUDIO	LONGITUD	LATITUD	ALTURA
Guayaquil–Provincia del Guayas	79° 57' 58.1" O	02° 08' 51.3" S	97.8m

Tabla 3.1 Ubicación del estudio Espol FM

- **Equipos de estudio y cabina master**

La cabina de locución será diseñada para un tiempo de reverberación aproximado de 1.9 segundos con una señal de referencia de 512 Hz; las paredes de la cabina de locución y master estarán recubiertas por un alfombrado de pana y esponja en su interior para conseguir un buen aislamiento de ruidos externos.

Los Equipos que conformarán la Cabina Master del Estudio Central se muestran en el Anexo 4.

El horario de operación de la Estación Radial será desde las 05H00 hasta las 24H00 con la respectiva grilla de programación regulada y previamente aprobada por el CORDICOM (Consejo de Regulación y Desarrollo de la Información y Comunicación).

Enlace entre estudio Espol y Cerro Azul

- **Ubicación geográfica y altura**

El Transmisor de Enlace estará instalado en el Estudio Central de Programación ubicado en la ciudad de Guayaquil-Provincia del Guayas, en la biblioteca Central de la ESPOL en el segundo piso.

El Receptor de Enlace estará ubicado en Cerro Azul ubicado en la ciudad de Guayaquil - Provincia del Guayas.

ESTUDIO	LONGITUD	LATITUD	ALTURA
Estudio Central-Guayaquil (Transmisor de Enlace)	79° 57' 58.1" O	02° 08' 51.3" S	97.8m
Cerro Azul (Receptor de Enlace)	79° 57' 30.1" O	02° 09' 54.9" S	374.5m

Tabla 3.2 Ubicación de transmisor y receptor de enlace

- **Características técnicas de los equipos de enlace**

El sistema de radio enlace contará con un transmisor y receptor de enlace de marca M&J modelo MA-TX-400 y MA-RX-400 respectivamente, aquellos que operan en la banda de VHF/UHF con frecuencia ajustable entre 200 MHz a 960 MHz. Cuentan con una potencia de salida de 0 W a 25 W.

Las especificaciones técnicas del equipo se detallan en el Anexo 5.

- **Antenas y líneas de transmisión**

En el enlace tanto para la transmisión como para la recepción se hará el uso de antenas de banda ancha de tipo Yagi de 7 elementos de marca Scala, modelo CA7-410, diseñadas para trabajar en la banda entre 406 MHz a 420 MHz.

Las especificaciones técnicas de la antena transmisora y receptora se detallan en el Anexo 6.

Los ángulos de elevación y azimuth de máxima radiación desde el transmisor hacia el receptor de enlace, así como la distancia correspondiente de los mismos se muestra en la tabla 3.3:

UBICACIÓN DE LOS ESTUDIOS (CIUDAD-PROVINCIA)	AZIMUTH (GRADOS)	TRANSMISOR F.M. (UBICACIÓN)	DISTANCIA (KILÓMETROS)	ELEVACIÓN (GRADOS)
Guayaquil – Provincia del Guayas	156.23°	Cerro Azul	2.15	7.31°

Tabla 3.3 Características de la antena de radio enlace

Para la implementación se realizará el uso de la línea de transmisión de tipo Heliac coaxial en espuma de un diámetro de ½'', marca Andrew, modelo LDF4-50A.

Las características técnicas de la línea de transmisión se detallan en el Anexo 7.

- **Frecuencia de enlace**

Para poder implementar el enlace de comunicación Estudio-Transmisor se solicita la asignación de una frecuencia dentro de la banda 417.5-430 MHz.

Sistema de transmisión.

- **Ubicación geográfica**

El sistema radiante se encontrará ubicado en las instalaciones de Cerro Azul, los datos geográficos se indican en la siguiente tabla:

TRANSMISOR (UBICACIÓN)	LONGITUD	LATITUD	ALTURA
Vía Perimetral-Cerro Azul	79° 57' 30.1" O	02° 09' 54.9" S	374.5m

Tabla 3.4 Ubicación del sistema radiante

- **Características generales del equipo transmisor**

En la ubicación señalada en el apartado anterior será ubicado el transmisor de FM de marca M&J, modelo MA-FM-350, diseñado y ensamblado en Ecuador de potencia nominal de 350 W, de tecnología Mosfet, totalmente en estado sólido y de alta eficiencia.

Para efectos de poder cumplir con el área de cobertura establecida se configurará al transmisor con un nivel de potencia entre 250 W a 300 W, considerando que el exceso de ganancia del sistema radiante de antenas se vea reducido con los niveles de pérdidas en la línea de transmisión, conectores y distribuidores de potencia.

Las especificaciones técnicas del equipo transmisor FM se detallan en el Anexo 8.

- **Sistema radiante**

En la salida del transmisor se implementará un sistema radiante de arreglo de antenas conformado por cuatro antenas tipo Dipolo Circular de marca OMB y Modelo MD-4, especificadas para transmitir en la banda de 87.5 MHz a 108 MHz.

Las especificaciones técnicas de la antena del sistema radiante se detallan en el Anexo 9.

En la siguiente tabla se detallan las principales características del sistema radiante a instalarse en la salida del transmisor.

TRANSMISOR (UBICACIÓN)	POTENCIA (W)	No. ANTENAS	GANANCIA (dBd/dBi)	AZIMUTH (GRADOS)	INCLINACIÓN (GRADOS)
Cerro Azul	300	4	8.15 dBi	90°	0°

Tabla 3.5 Características del sistema radiante

Para poder calcular la ganancia del arreglo lineal del sistema radiante realizará con la siguiente expresión matemática:

$$G_T = G_A + 10 * \log(A_T) \quad (3.1)$$

Donde:

G_T : Ganancia del arreglo en dBd.

G_A : Ganancia de la Antena Individual en dBd.

A_T : Número total de antenas del arreglo.

Las antenas serán ubicadas sobre una torre soportada con tensores de sección triangular con 30 metros de altura, de fabricación nacional. El centro de fase se encontrará en la parte superior de la torre con una altura de 24 metros sobre el nivel del suelo.

Para calcular la altura efectiva sobre el terreno promedio se hará el uso de la siguiente expresión matemática:

$$ASTP = H_{TX} + H_{CF} - H_{PT} \quad (3.2)$$

Donde:

ASTP: Altura Sobre el Terreno Promedio.

H_{TX}: Altura del Sitio de Transmisión.

H_{CF}: Altura del Centro de Fase del Sistema Radiante.

H_{PT}: Altura Promedio del Terreno en Recepción.

Teniendo en consideración la topografía llana de Guayaquil y sus alrededores, podemos concluir un nivel promedio de altitud de 18.90 metros sobre el nivel del mar, por lo tanto, procederemos a calcular la altura efectiva la cual será:

$$ASTP = H_{TX} + H_{CF} - H_{PT}$$

$$ASTP = 374,5m + 24m - 18,90m$$

$$ASTP = 379,6m$$

Para la línea de transmisión se utilizará una línea de tipo HANSEN RF50 1/2" con coaxial de espuma, con impedancia de 50Ω. Las características técnicas de la línea de transmisión para el sistema radiante se detallan en el Anexo 10.

- **Área de cobertura**

Para calcular el área de cobertura se considera como parámetros fijos la potencia de salida del transmisor, altura efectiva, características de radiación e inclinación electrónica del sistema radiante. Los resultados se obtienen a partir de cálculos de propagación según los azimuth de mayor interés y distancias que se extienden radialmente desde el punto de transmisión; el área a proteger se encuentra determinada por un nivel de intensidad de campo eléctrico $\geq 54 \text{dB}\mu\text{V/m}$ en el borde del área de cobertura principal; también se representa el contorno de intensidad en el borde de cobertura interior $\geq 50 \text{dB}\mu\text{V/m}$ y $< 54 \text{dB}\mu\text{V/m}$.

Los cálculos correspondientes y mapas de cobertura se adjuntan al final de esta documentación, en los cuales el campo eléctrico se haya especificado en dB μ V/m eficaces de sincronismo a 10 metros de altura, y en puntos con línea de vista. El mapa utilizado corresponde a una escala 1:500.000

- **Frecuencia**

Para poder brindar el servicio de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada se solicita la asignación de una frecuencia dentro de la banda de 88-108MHz que se encuentre disponible.

3.3 MEDICIONES DE PROPAGACIÓN

3.3.1 Enlace Estudio Espol – Cerro Azul.

- **Perfil topográfico**

El perfil topográfico correspondiente al enlace en la banda de 417.5 MHz a 430 MHz obtenido mediante el software Radio Mobile, nos muestra los diferentes relieves a lo largo de la trayectoria al conectar el punto de inicio en donde se localiza el Transmisor de Enlace con el punto de llegada en donde se encuentra nuestro Receptor de Enlace.

El transmisor de enlace se instalará en el Campus Gustavo Galindo de la Espol en las infraestructuras de la Biblioteca Central, mientras que nuestro receptor de enlace se encontrará localizado en Cerro Azul, las coordenadas y alturas del Transmisor y Receptor de enlace se encuentran detalladas en la tabla 3.2 anteriormente mencionada.

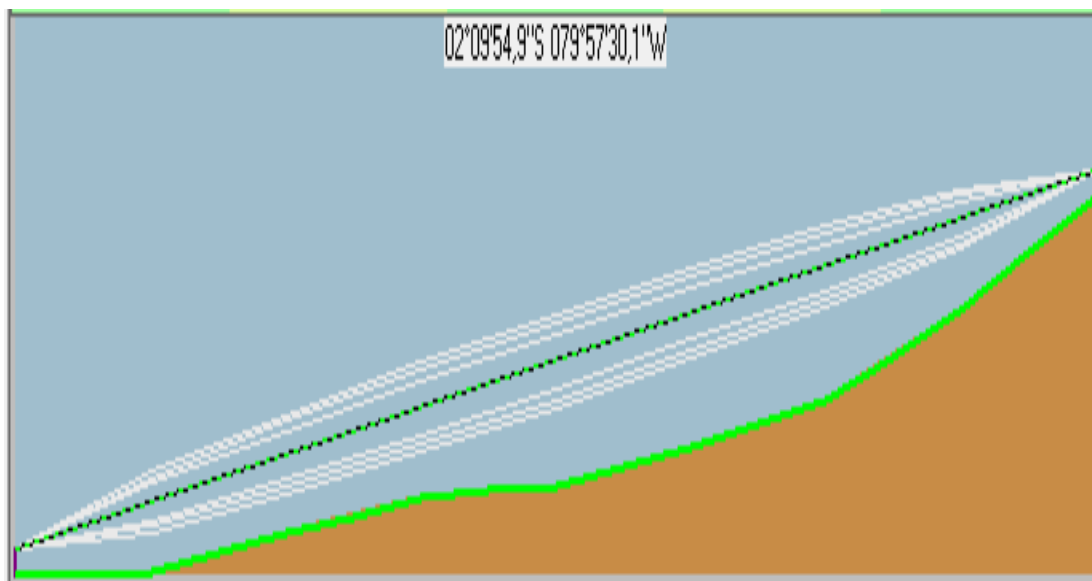


Figura 3.2 Perfil topográfico del enlace

En el perfil topográfico no visualizamos relieves muy altos entre el Transmisor y Receptor de Enlace, lo cual ayuda mucho a nuestro enlace, por otra parte, en el trayecto se encontrará una zona de vegetación debido a los árboles y arbustos en Cerro Azul, la cual se muestra a continuación:

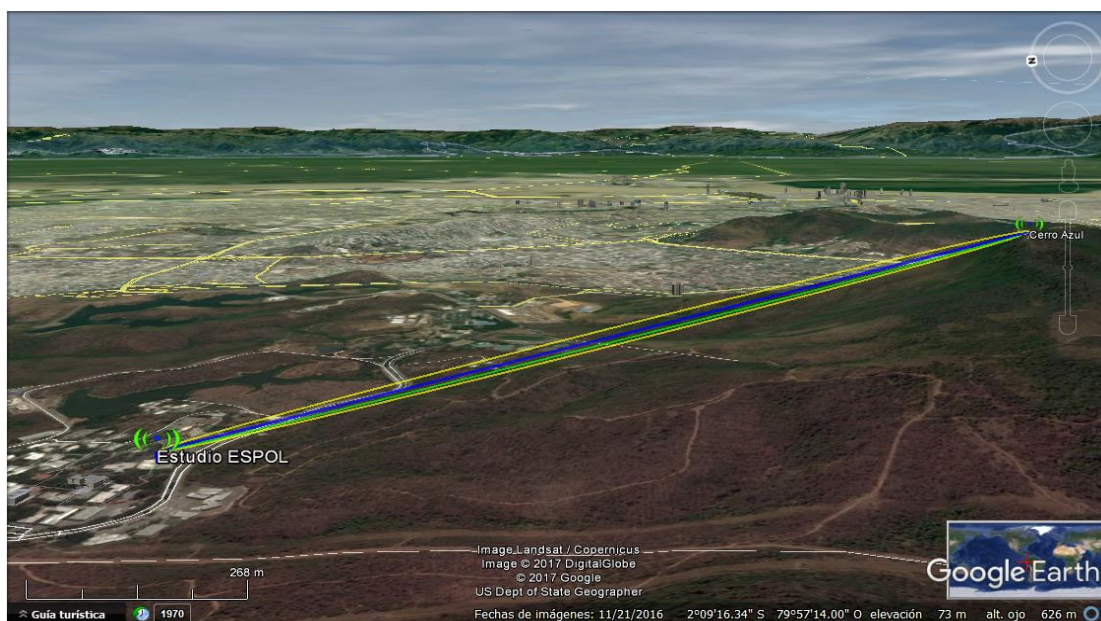


Figura 3.3 Perfil Topográfico del enlace visto en Google Earth

- **Radio enlace estudio Espol – Cerro Azul**

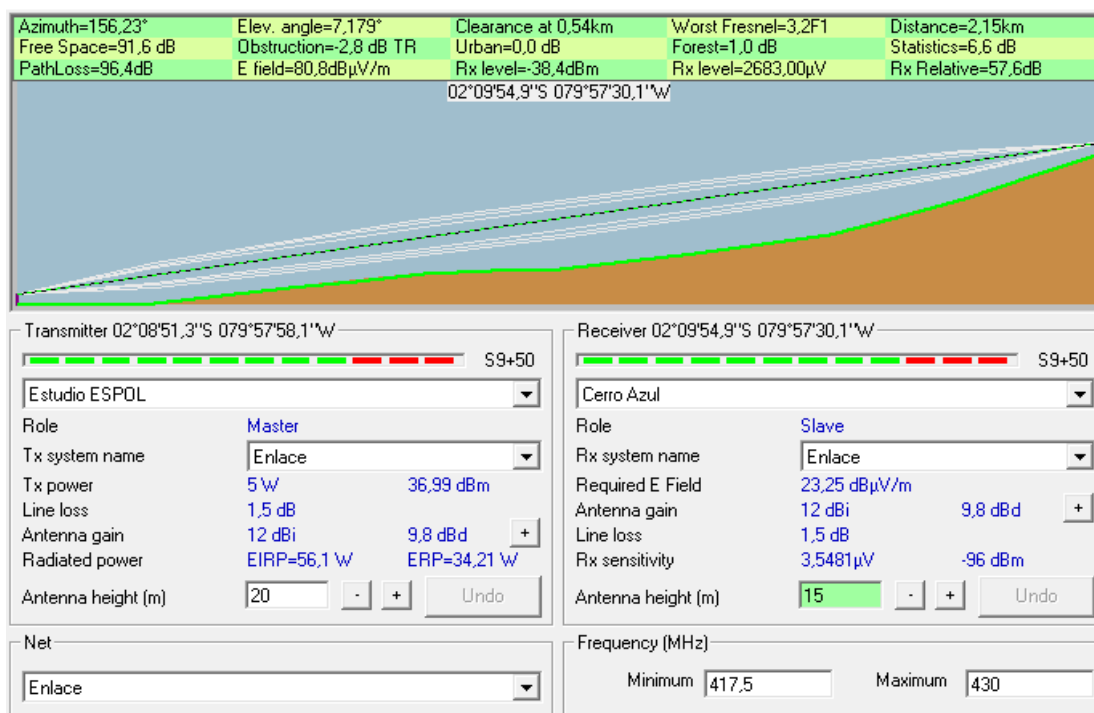


Figura 3.4 Radio enlace transmisor – receptor

Se muestra la simulación del Radio Enlace entre el transmisor y Receptor, el enlace consta de una potencia de 5W de transmisión y un nivel de recepción muy bueno, esto debido a que se obtuvo línea de vista y nuestra primera región de Fresnel se encuentra libre de obstrucciones.

El enlace tendrá una distancia de 2.15 km en los cuales se asumió una pérdida por vegetación del 5%, en las simulaciones realizadas nos da un valor de 1 dB, las ganancias de las antenas cuentan con 12dBi y con una pérdida de línea de 1.5 dB

El P.E.R cuenta con un nivel de 34.21W y el E.I.R.P. con un nivel de 56.1W, niveles muy buenos que nos indican un enlace en óptimas condiciones.

Para poder obtener un mayor nivel de recepción ambas antenas tanto transmisora como receptora se encuentran viéndose, con un azimuth de 156.23° y un ángulo de elevación de 7.179°.

Los parámetros técnicos del radio enlace se detallan en la tabla 3.6:

FRECUENCIA	417.5 – 430 MHz
POTENCIA TX	5W
TIPO DE MODULACIÓN	F.M. COMPUESTA (MPX)
ANCHO DE BANDA	FM – 200kHz
MODALIDAD	SIMPLEX
ANTENA TX	YAGI SCALA/CA7-410
No. DE ELEMENTOS	7 ELEMENTOS
LINEA DE TRANSMISIÓN	½ " LDF4-50
ALTURA DE ANTENA TX	20m
FIGURA DE RUIDO RX	14.0 dB
TEMP. AMBIENTE	18° C
GRADIENTE REFRACTIVO	8%
POLARIZACIÓN	HORIZONTAL
ZONA DE PRECIPITACIÓN	ITU-P
ANTENA RX	YAGI SCALA/CA7-410
No. DE ELEMENTOS	7 ELEMENTOS
LINEA DE TRANSMISIÓN	½ " LDF4-50
ATT. SUPLEMENTARIAS	1.92 dB

Tabla 3.6 Parámetros eléctricos del radio enlace

- **Arreglo de antenas**

En el enlace tanto para la transmisión como para la recepción se hará el uso de antenas de banda ancha de tipo Yagi de 7 elementos de marca Scala, modelo CA7-410, diseñadas para trabajar en la banda entre 406 MHz a 420 MHz.

Las especificaciones técnicas de la antena transmisora y receptora se detallan en el Anexo 6.

- **Perdidas en el espacio libre**

La pérdida en el espacio libre mediante la simulación de nuestra emisora radial nos arrojó un valor de 91.6 dB que es un nivel muy aceptable con la potencia de transmisión de enlace, también obtuvimos otras pérdidas que son por conectores y vegetación dándonos como resultado una pérdida total de propagación de 96.4 dB

Los parámetros que arrojo nuestro estudio del radio enlace se muestran en la siguiente figura:

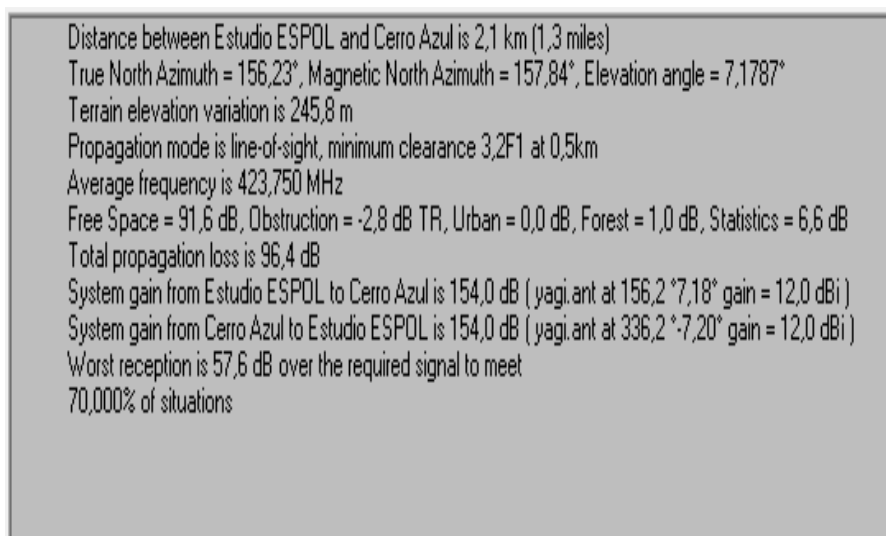


Figura 3.5 Parámetros de propagación del radio enlace

- **Nivel de recepción**

En el umbral de recepción se detallan todas las especificaciones técnicas tanto de transmisión como de recepción entre el sistema de enlace.

La potencia de Recepción se encuentra en un nivel aceptable para las ganancias de las antenas y la potencia del transmisor de enlace. Las especificaciones se detallan en la tabla 3.7:

POTENCIA DE TX	6.99 dBw
GANANCIA ANTENA TX	12 dBi
GANANCIA ANTENA RX	12 dBi
ATT. LINEA TRANSMISION TX	1.5 dB
ATT. LINEA TRANSMISION RX	1.5 dB
PERDIDAS DE ESPACIO LIBRE	91.6 dB
ABSORCIÓN ATMOSFÉRICA	0.01 dB
POTENCIA RX	-38.4 dBm/ 2683.0 dB μ V
UMBRAL DE RECEPCIÓN	-96.0 dBm/ 3.5481 dB μ V

Tabla 3.7 Niveles de recepción y ganancia de las antenas

- **Patrón de radiación de la antena**

La antena Yagi de 7 elementos descrita en los apartados anteriores muestra el siguiente patrón de radiación en el plano E como en el Plano H respectivamente:

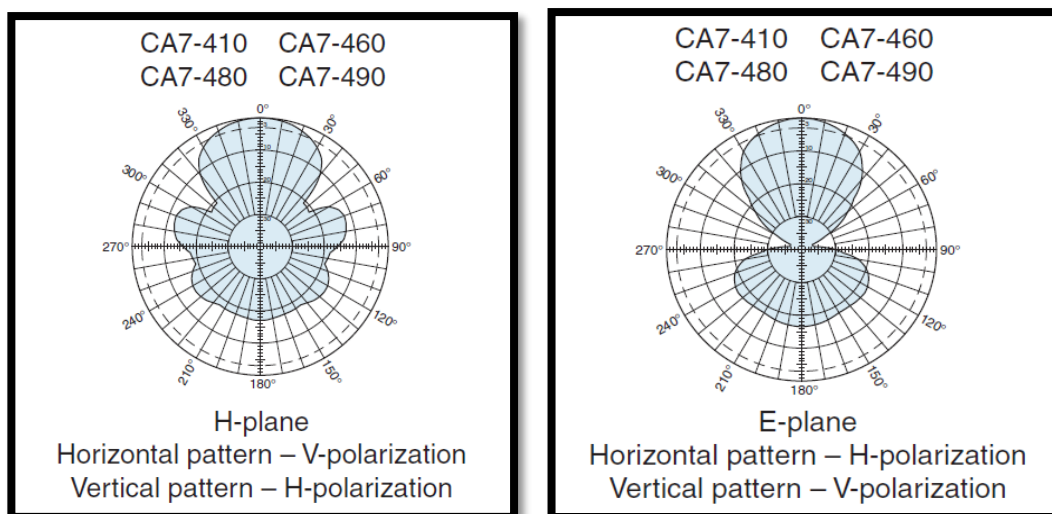


Figura 3.6 Patrón de radiación de la antena transmisora del radio enlace

3.3.2 SISTEMA TRANSMISOR ESPOL FM

- **Especificaciones técnicas**

El sistema Transmisor de nuestra emisora radial para salir al aire en frecuencia modulada trabajará en la banda de 88 – 108 MHz, el transmisor RF se localizará en Cerro Azul ajustado a una potencia de 300W con un rendimiento del 95%, el tipo de antena a utilizar serán de dipolo circular en un arreglo de 4 elementos ubicados a 24 metros de altura en la torre como se indica en la siguiente tabla:

UBICACIÓN TRANSMISOR FM	CERRO AZUL
BANDA DE FRECUENCIA	88 – 108 MHz
POTENCIA DE TX	300 W
RENDIMIENTO	95%
LÍNEA DE TRANSMISIÓN	HANSEN RF50 ½"
ALTURA	24m
TIPO DE ANTENA	DIPOLO CIRCULAR FM/MP-4

Tabla 3.8 Especificaciones técnicas del sistema radiante

La antena que transmitirá a los diferentes destinos se encontrará con un azimuth de 90° y una inclinación de 0°, esto para que pueda cubrir las zonas de Guayaquil y sus alrededores.

AZIMUTH	90°	180°	270°	0°
No. ANTENAS	4	-	-	-
% DIST. POTENCIA	100%	-	-	-
INCLINACIÓN	0.00°	0.00°	0.00°	0.00°
ALTITUD PROM RX.	8m	8m	8m	8m

Tabla 3.9 Azimuth y especificaciones de la antena del sistema radiante

La altura efectiva a la cual deberá estar nuestra antena con respecto al nivel del mar es de 379.6m, se realizará un análisis a 100 km alrededor a fin de obtener una mejor idea de la intensidad de nuestro Campo eléctrico para conocer si los niveles que se encuentran

llegando son correctos y apropiados para nuestro sistema radiante. Los parámetros se detallan en la tabla 3.10:

AZIMUTH	90°	180°	270°	0°
ALTURA EFECTIVA	379.6m	379.6m	379.6m	379.6m
RADIO HORIZONTE	100Km	100Km	100Km	100Km
GANANCIA ANTENA	8.15 dBi	5.8 dBi	3.7 dBi	5.8 dBi

Tabla 3.10 Altura efectiva y ganancia de antena

- **Arreglo de antenas**

En la salida del transmisor se implementará un sistema radiante de arreglo de antenas conformado por cuatro antenas tipo Dipolo Circular de marca OMB y Modelo MD-4, especificadas para transmitir en la banda de 87.5 MHz a 108 MHz.

Las especificaciones técnicas del sistema radiante se detallan en el Anexo 8.

- **Área de cobertura**

El área de cobertura de nuestra emisora radial nos da como objetivo la ciudad de Guayaquil y sus alrededores, comprendiendo estos los cantones Duran, Yaguachi, Nobol, Daule, Lomas de Sargentillo, Salitre, Samborondón y Milagro.

Realizando el estudio de Ingeniería previo podemos observar que se logra cubrir todos nuestros objetivos.

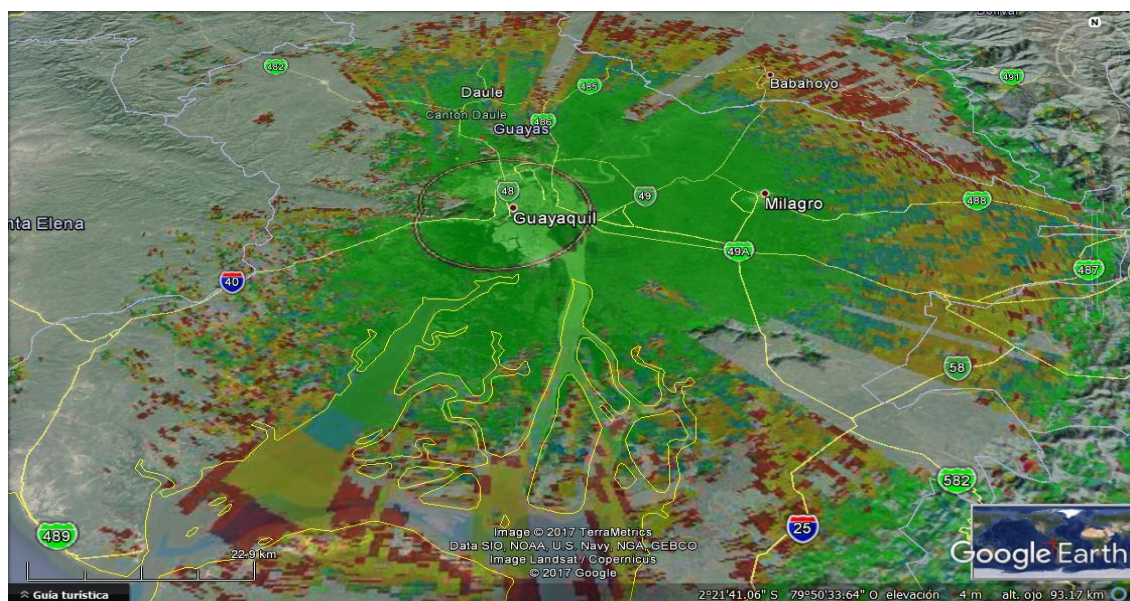


Figura 3.7 Área de cobertura del sistema radiante



Figura 3.8 Área de cobertura ciudad de Guayaquil y alrededores

Los niveles de Cobertura del estudio nos indican que intensidad de Campo se encuentra llegando a diferentes puntos en la ciudad de Guayaquil y sus alrededores, un valor mayor a 54 dBuV/m nos da a conocer una excelente recepción de señal. Como se muestra, nuestras coberturas con los parámetros mencionados en apartados anteriores nos arrojan valores con buenos niveles de señal.

El código de color que se utilizó para realizar el gráfico de cobertura se detalla a continuación:

50dB μ V/m	51,4dB μ V/m	52,8dB μ V/m	54,2dB μ V/m	55,6dB μ V/m	57dB μ V/m
----------------	------------------	------------------	------------------	------------------	----------------

Tabla 3.11 Niveles de recepción

- **Intensidad de campo eléctrico**

Para un mejor análisis de nuestro campo eléctrico se procederá a realizar un estudio de la cobertura para diferentes puntos situados en un rango de 0 a 100 km a la redonda con variaciones de azimuth que se detallan a continuación en la tabla 3.12

:

d(km)	AZ.45°	AZ.90°	AZ.135°	AZ.180°	AZ.225°	AZ.270°	AZ.315°	AZ.0°
5	80.5	71.7	84.1	72.2	78.2	37.9	62.8	82.1
10	78.7	76.6	81.3	71.5	78.6	60.6	73.7	73.2
15	75.0	72.1	70.8	70.2	70.3	50.4	55.0	76.9
20	68.5	70.6	69.1	68.2	66.6	51.1	47.1	58.4
25	66.0	66.0	65.7	61.5	57.4	51.7	63.9	54.0
30	63.9	63.1	62.5	58.7	56.4	52.3	33.7	54.3
35	62.5	60.3	59.4	58.5	55.8	51.8	50.1	52.6
40	60.5	58.2	56.7	56.7	54.5	54.1	41.3	54.1
45	58.2	56.3	57.6	55.4	56.3	12.8	45.2	54.7
50	55.9	56.8	56.5	55.0	45.8	33.0	46.9	55.0
55	53.4	56.5	55.8	54.0	44.5	26.4	43.7	53.3
60	53.4	55.7	53.0	49.5	41.6	35.0	37.3	49.7
65	53.1	54.5	52.6	52.7	45.2	26.5	48.1	50.8
70	50.3	54.2	59.6	35.0	44.7	22.5	48.5	49.4
75	50.4	54.0	54.1	40.8	22.1	32.3	44.8	46.9
80	47.0	53.8	46.1	40.6	35.1	20.9	22.5	42.6
85	47.0	53.7	35.9	40.0	36.4	18.2	0.5	42.2
90	49.2	11.4	-4.8	39.4	35.0	-3.0	41.9	43.3
95	62.8	64.7	50.3	38.1	36.5	15.3	16.7	40.0
100	16.4	6.9	6.6	37.3	34.6	15.0	-12.2	42.2

Tabla 3.12 Evaluación del campo eléctrico

- **Potencia efectiva radiada (P.E.R.)**

Será determinada en Vatios(Watts) sobre la base de la aplicación de la relación matemática siguiente

$$P.E.R.(KW) = P_T(KW) * 10^{\left[\frac{G(dBd) - PERDIDAS(dB)}{10}\right]} \quad (3.3)$$

Donde:

$P_T(KW)$: Potencia de Salida del Transmisor

$G(dBd)$: Ganancia del arreglo (Sistema Radiante)

$PERDIDAS(dB)$: Perdidas de líneas de transmisión conectores, etc

$$P.E.R.(KW) = 0.3kW * 10^{\left[\frac{6.0(dBd)-1.5(dB)}{10}\right]}$$

$$P.E.R.(KW) = 0.85kW$$

$$P.E.R. = 850.00W$$

- **Ganancia de la antena**

Las ganancias de las antenas del sistema de enlace como del sistema transmisor se detallan a continuación en la siguiente tabla:

GANANCIA ANTENA DE ENLACE	9.85 dBd
GANANCIA ANTENA SIST. RADIANTE	6 dBd

Tabla 3.13 Ganancia de antena del enlace y sistema radiante

- **Pérdidas de línea**

Dependiendo de las líneas de transmisión que utilizamos obtendremos ciertas pérdidas, estas vienen especificadas en cada detalle del fabricante.

Para la línea de transmisión se utilizará una línea de tipo HANSEN RF50 1/2" con coaxial de espuma, con impedancia de 50Ω. Las características técnicas de la línea de transmisión para el sistema radiante se detallan en el Anexo 9.

- **Azimuth e inclinación de la antena**

Para el sistema radiante en la frecuencia de 88 MHz a 108 MHz se realizaron ciertas variaciones al azimuth con el fin de obtener la cobertura deseada. El azimuth final de la antena transmisora de RF se encontrará desfasada 90° mientras que su grado de inclinación se mantendrá en 0°

- **Patrón de radiación**

Las antenas de transmisión radial que utilizaremos serán las antenas dipolo circular descritas anteriormente, los patrones de radiación tanto en el plano E como en el Plano H se muestran a continuación:

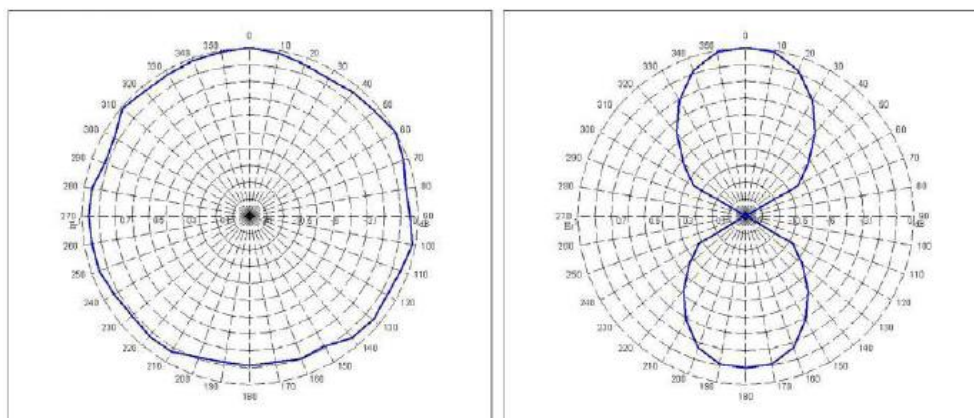


Figura 3.9 Patrón de radiación del sistema radiante

3.4 MEDICIONES DE CAMPO Y LABORATORIO DEL TRANSMISOR RF

En el siguiente apartado se detallan los parámetros de las mediciones realizadas del equipo transmisor fabricado en la empresa Aletel S.A. como parte de la verificación del cumplimiento de la norma nacional y de su rendimiento técnico. El transmisor que se analizó es el transmisor de F.M., marca M&J, modelo MA-FM-350.

La verificación del rendimiento se realizó de acuerdo a las partes aplicables de la parte 2 y parte 73 de las reglas asignadas por la FCC.

Las mediciones se realizaron mediante las siguientes reglas establecidas por la FCC:

- Para mediciones de potencia de salida se utilizó la regla Parte 2.1046 de la FCC

- Para mediciones de estabilidad de frecuencia con variaciones de temperatura y variaciones de voltaje de línea se utilizó la especificación 73,1545 de la FCC.
- Para mediciones de respuesta de frecuencia vs la demodulación de amplitud, cumplen con la carta de ingeniería identificada en 73.333 de la FCC
- Para mediciones de ancho de banda ocupado, se utilizaron las especificaciones 73.297, 73.317, 73.319, 73.322, y 73.1570 de la FCC, junto con la medición de ancho de banda de la UIT a -26Db mediante el método de retención de máximos.
- Para mediciones de los niveles de armónicos se hizo uso de las normas especificadas en la Regla Parte 73.317 y Regla 2,1053 2,1057 de la FCC
- Para mediciones de voltaje y corriente de la etapa final del amplificador se hizo el uso de la Regla 2.1033 de la FCC.

3.4.1 Señal portadora

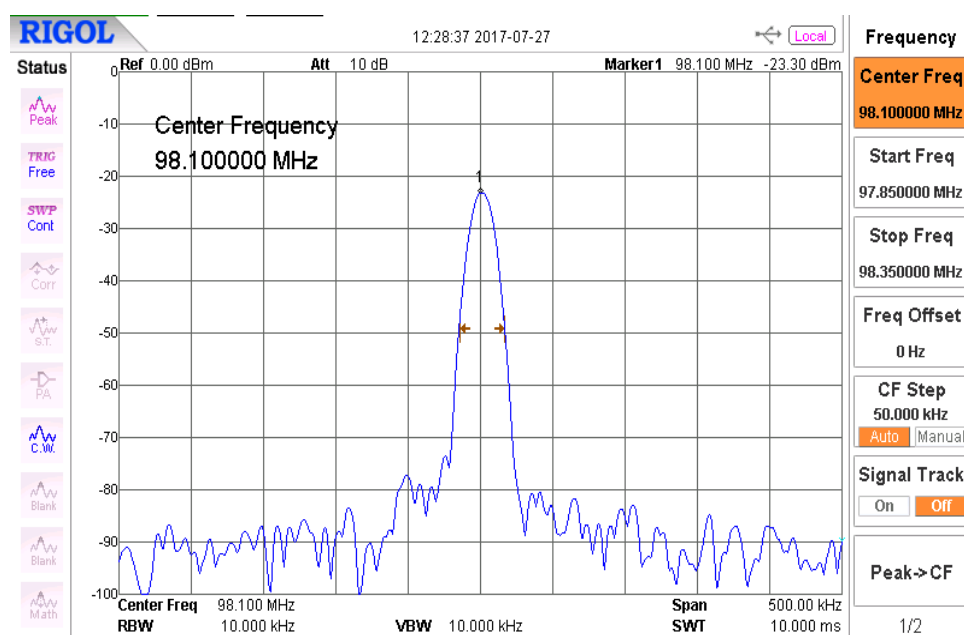


Figura 3.10 Portadora modo monofónico

Se muestra la señal portadora en modo monofónico proveniente del excitador del transmisor, centrada en la frecuencia de 98.1 MHz que se encuentra en la actualidad sin uso con un nivel de señal de -23.30 dBm.

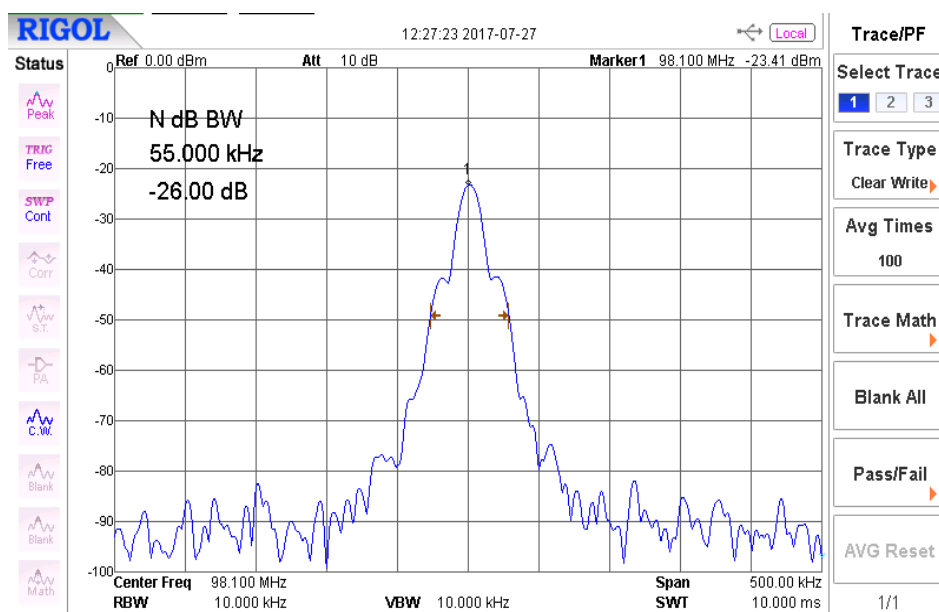


Figura 3.11 Portadora modo estereofónico

Señal portadora en modo estereofónico proveniente del excitador del transmisor, centrada en la frecuencia de 98.1 MHz actualmente sin uso, con un nivel de señal de -23.41 dBm, se puede observar a -26 dB un ancho de 55Khz el cual cumple con la normativa técnica.

3.4.2 Frecuencia piloto y nivel de 38KHz

El valor de la frecuencia del tono piloto fue medida dando como resultado un aproximado de 19.00 kHz, su desviación fue fijada en 7.5 kHz. La desviación de la subportadora del tono piloto que es aproximadamente de 38KHz debe ser no más de 0.75KHz, esto se confirmó mediante el Analizador de Espectro marca RIGOL modelo DSA 815 para mostrar el nivel de la subportadora.

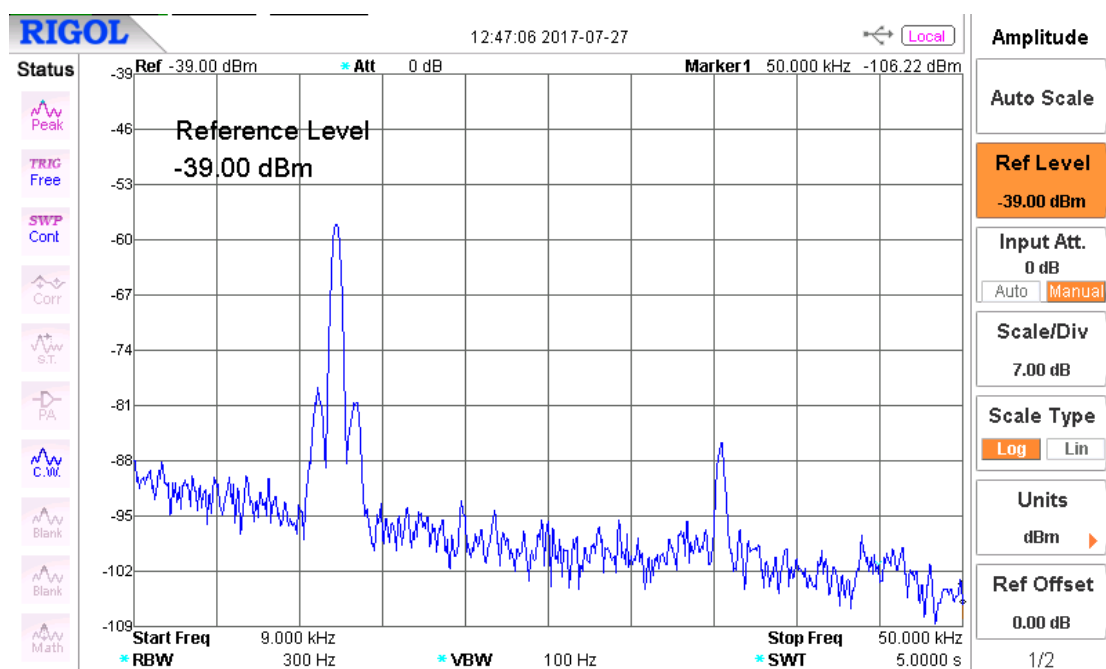


Figura 3.12 Frecuencia piloto y nivel de los 38kHz

Se muestra en la medición anterior la frecuencia piloto de 19kHz y el nivel de los 38 KHz, como resultado obtuvimos una frecuencia de aproximadamente de 19.12 y de 38,11 kHz respectivamente con un nivel de 32 dBm una con respecto a la otra.

3.4.3 Niveles de armónicos

Las mediciones de los niveles de armónicos se realizaron a base del muestreo de la señal y en las cercanías del transmisor marca M&J, modelo MA-FM-350. Estas mediciones se llevaron a cabo mediante el uso del Analizador de Espectro con su respectiva antena, además de una carga fantasma de 50Ω que se conectó a la salida RF del transmisor para evitar daños por auto-oscilación.

Se obtuvo como resultado los niveles de armónicos mostrados en las siguientes mediciones:

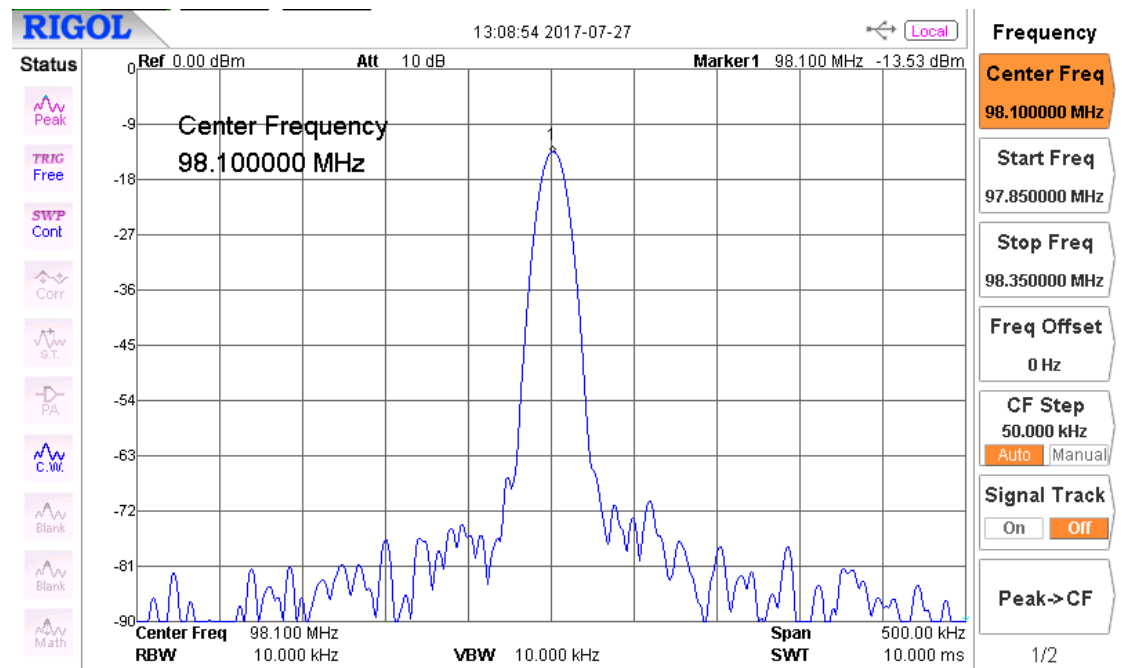


Figura 3.13 Frecuencia fundamental.

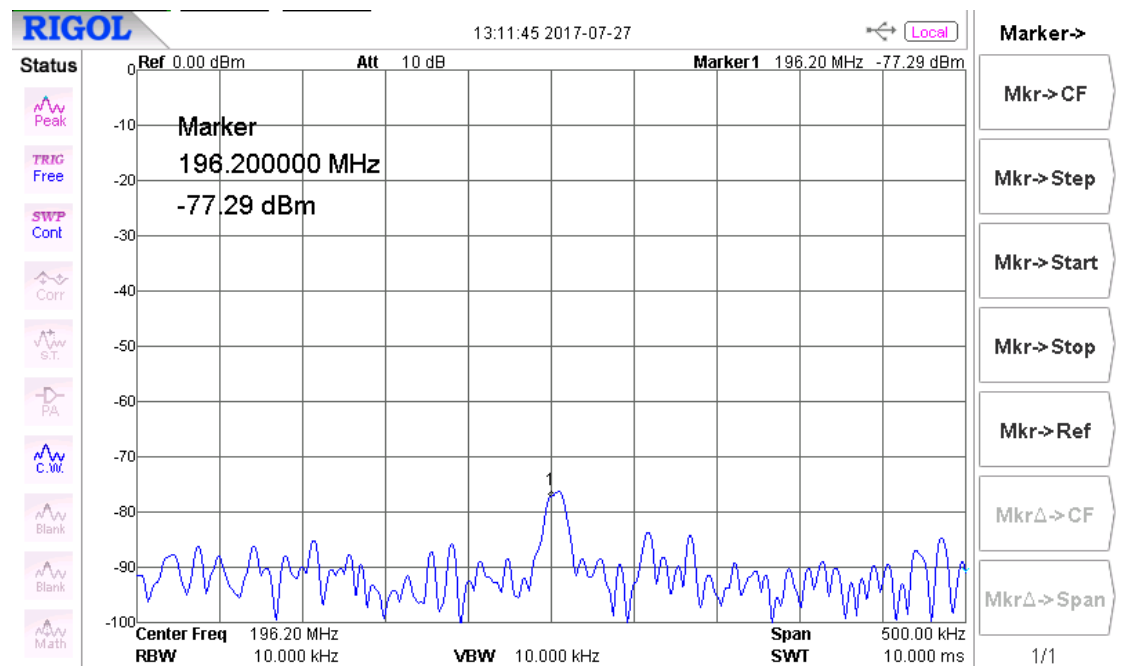


Figura 3.14 Segundo armónico

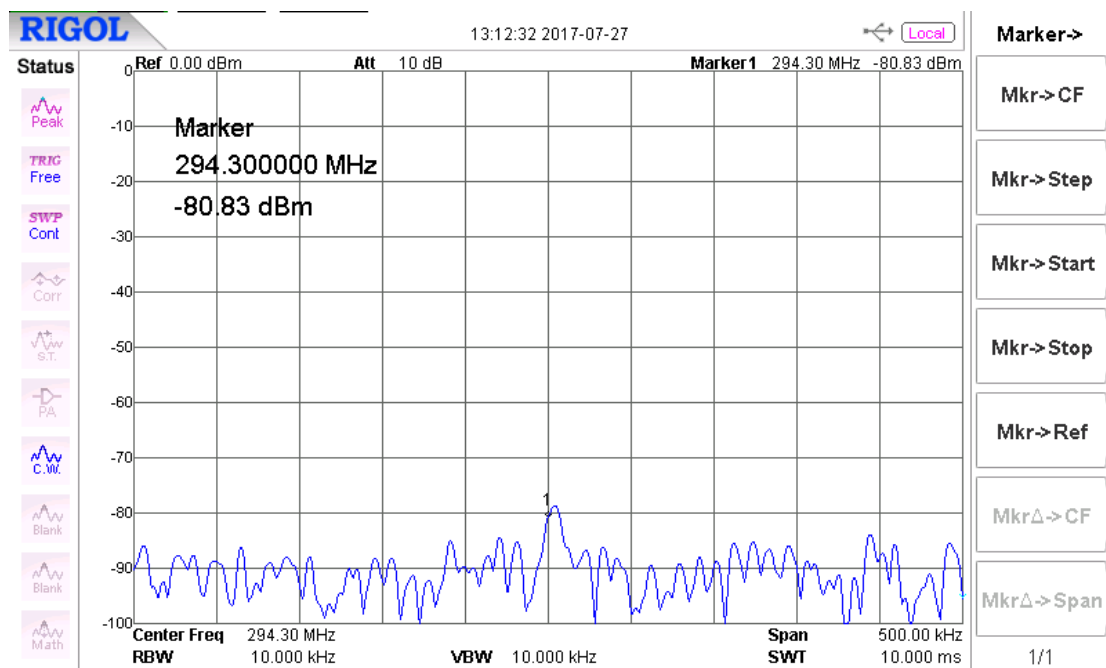


Figura 3.15 Tercer armónico

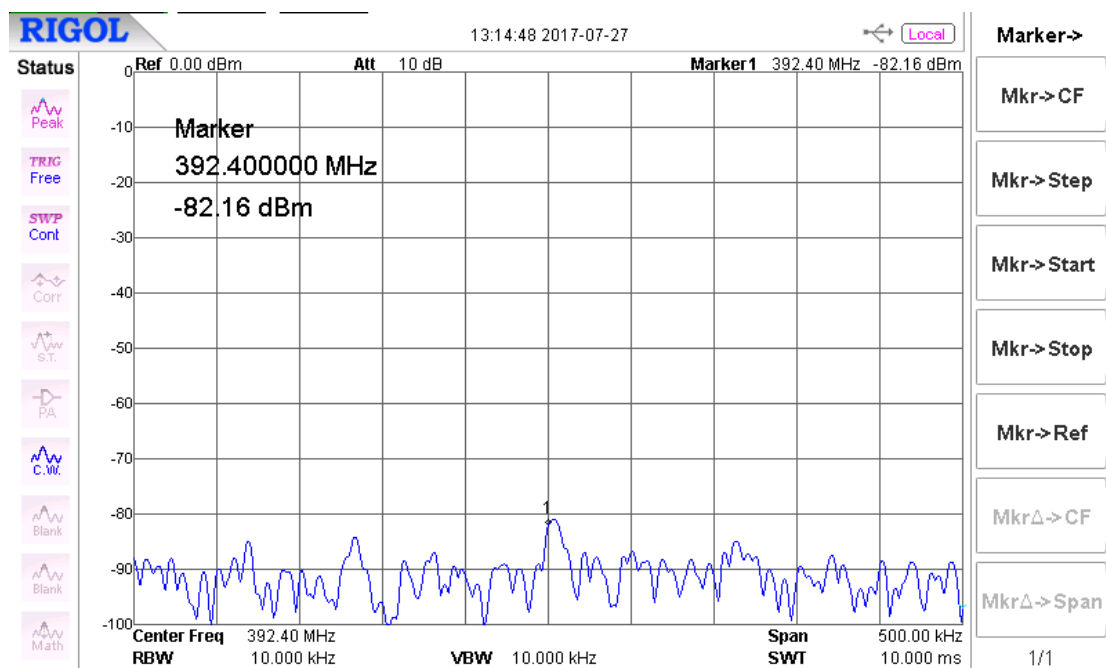


Figura 3.16 Cuarto armónico

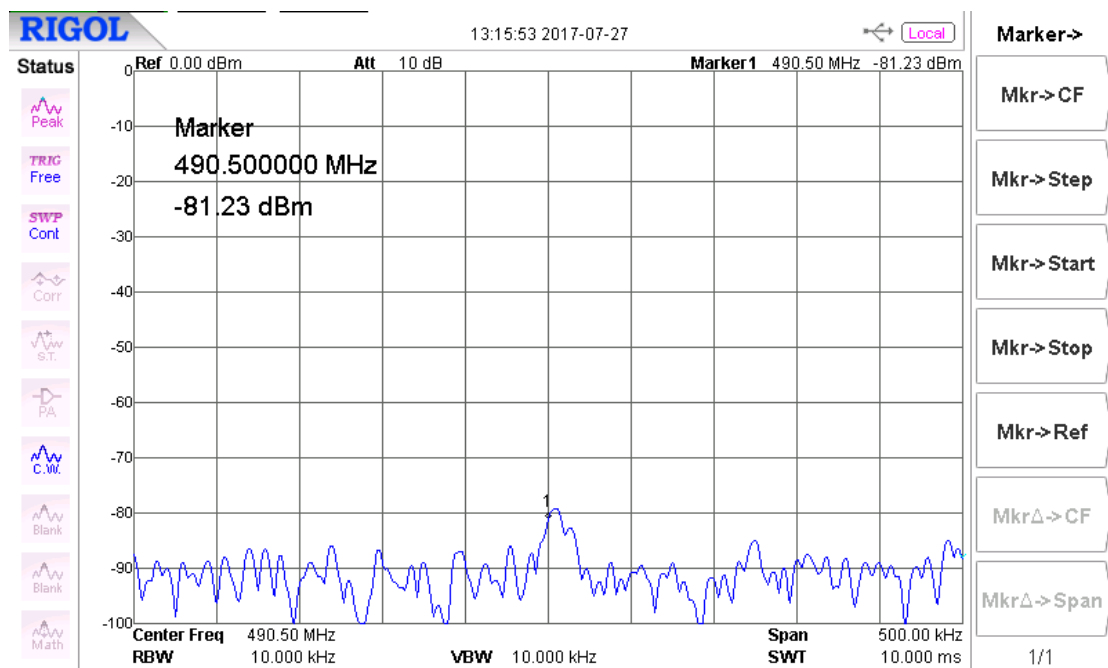


Figura 3.17 Quinto armónico

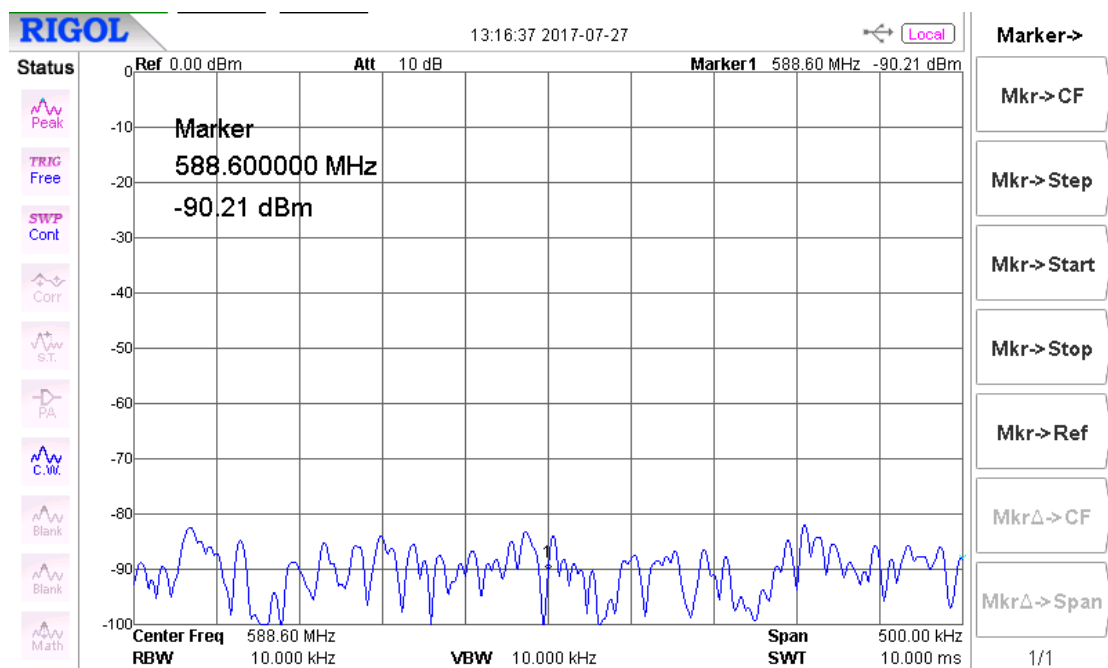


Figura 3.18 Sexto armónico

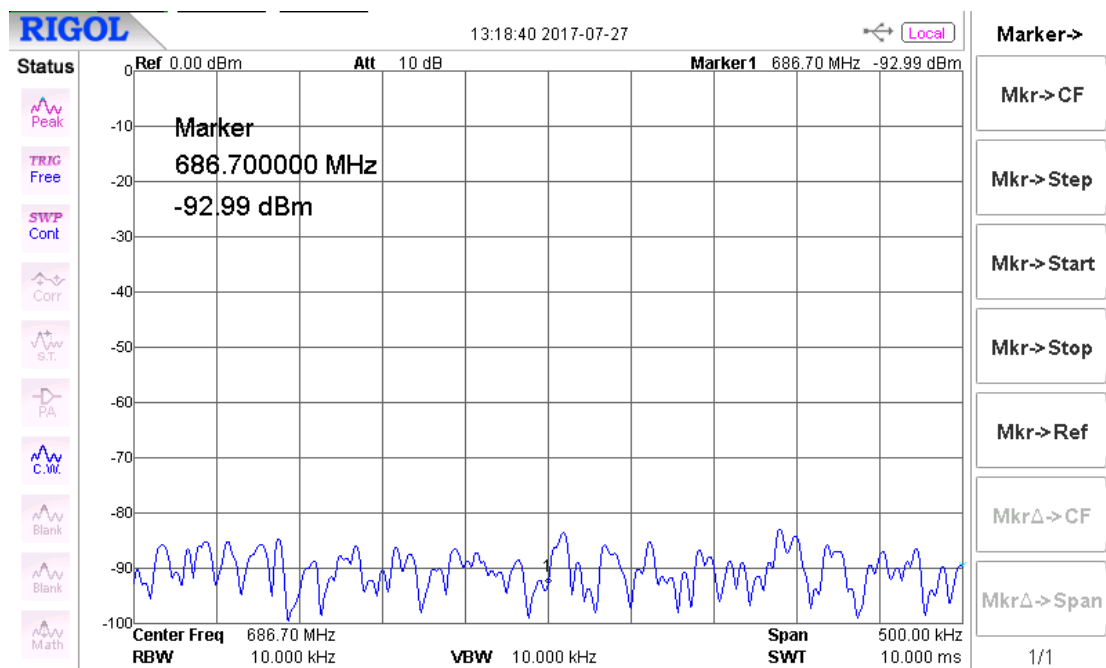


Figura 3.19 Séptimo armónico

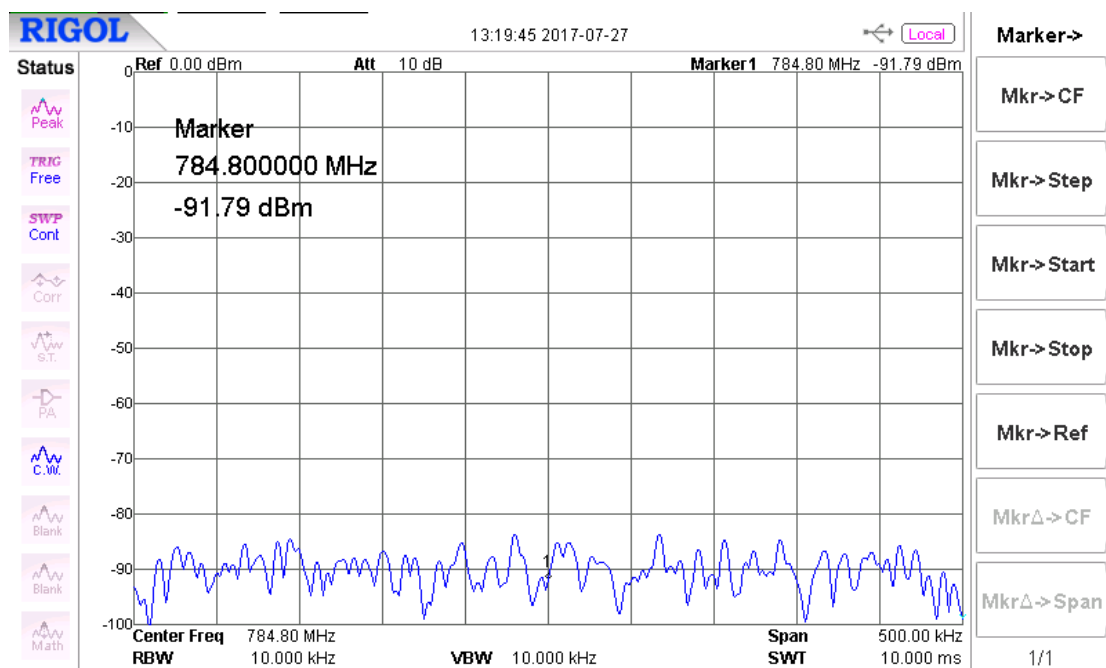


Figura 3.20 Octavo armónico

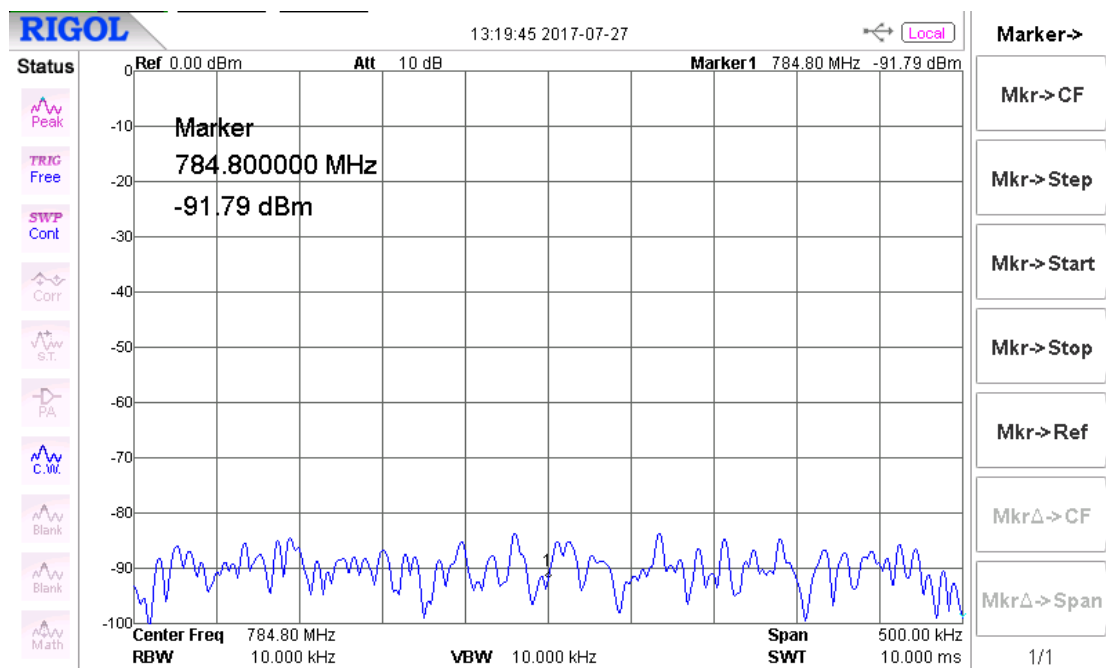


Figura 3.21 Noveno armónico

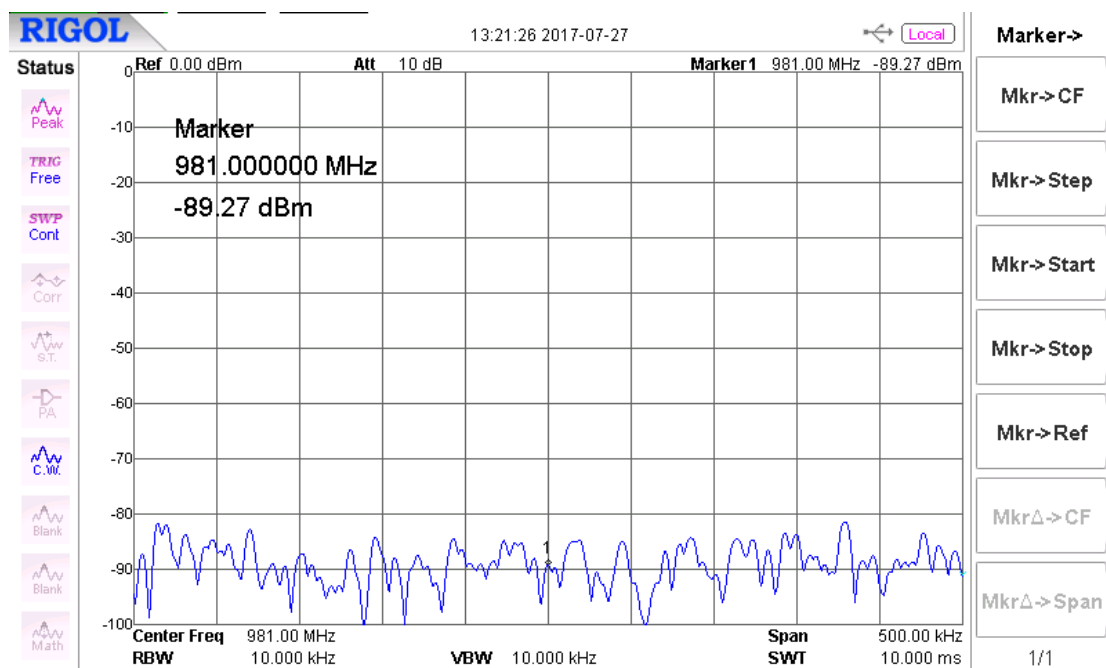


Figura 3.22 Décimo armónico

ARMONICOS	FRECUENCIA (MHz)	NIVEL (dBm)
Frecuencia Fundamental	98.1 MHz	-13.53 dBm
Segundo Armónico	196.2 MHz	-77.29 dBm
Tercer Armónico	294.3 MHz	-80.83 dBm
Cuarto Armónico	392.4 MHz	-82.16 dBm
Quinto Armónico	490.5 MHz	-81.23 dBm
Sexto Armónico	588.6 MHz	-90.21 dBm
Séptimo Armónico	686.7 MHz	-92.99 dBm
Octavo Armónico	784.8 MHz	-91.79 dBm
Noveno Armónico	882.9 MHz	-91.79 dBm
Décimo Armónico	981 MHz	-89.27 dBm

Tabla 3.14 Frecuencias con su respectivo nivel de armónicos

En la tabla 3.14 se muestran los niveles de las armónicas, según lo especificado en la normativa por la Arcotel, este nivel debe ser 80 dB menor tomando en cuenta el pico de la frecuencia fundamental, Cabe recalcar que estas mediciones se realizaron en las cercanías del transmisor por lo que estos niveles se encontraran en un nivel alto con respecto a medirlos en las afueras. El piso de ruido como observamos se encuentra a -90 dBm, podemos concluir que cumple con la normativa técnica vigente.

3.4.4 Componente espectral

Para las mediciones de las componentes espectrales del canal derecho y del canal izquierdo producidas por el equipo transmisor se realizó el uso del analizador de espectro el cual tuvo su ajuste de SPAN, RBW, VBW y SWT para poder visualizar de una mejor manera las respectivas componentes espectrales, para que el equipo no sufra desperfectos por auto-oscilación a la hora de la medición se hizo uso de una carga fantasma de 50 Ohms en la salida de RF

Se obtuvieron como resultado las siguientes mediciones:

- Canal derecho

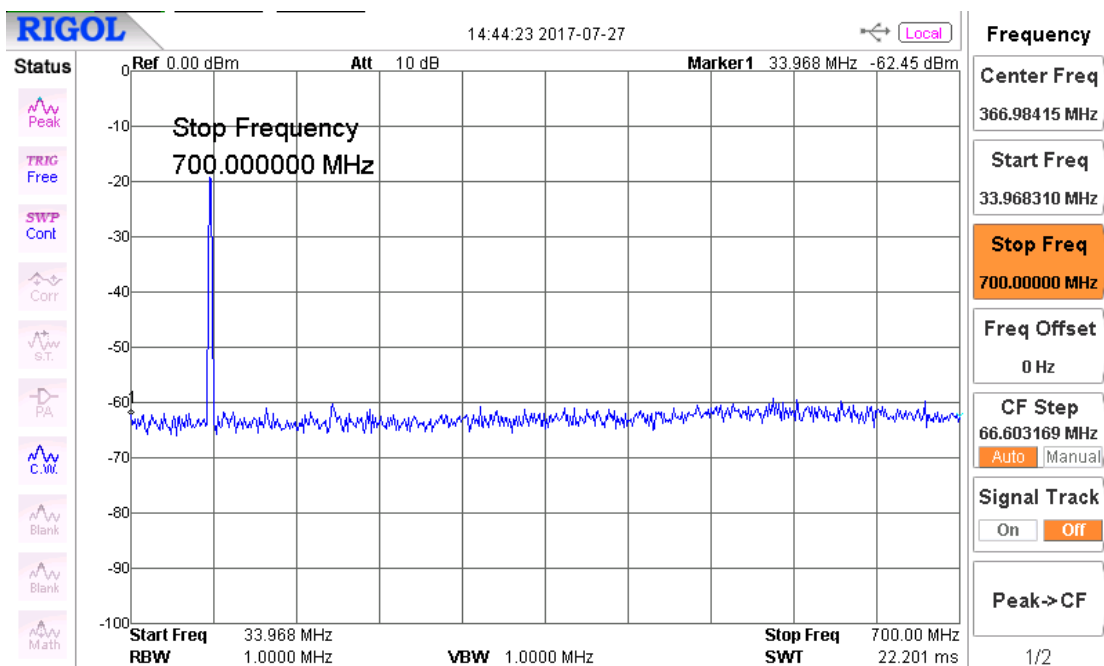


Figura 3.23 Componente espectral canal derecho

- Canal izquierdo

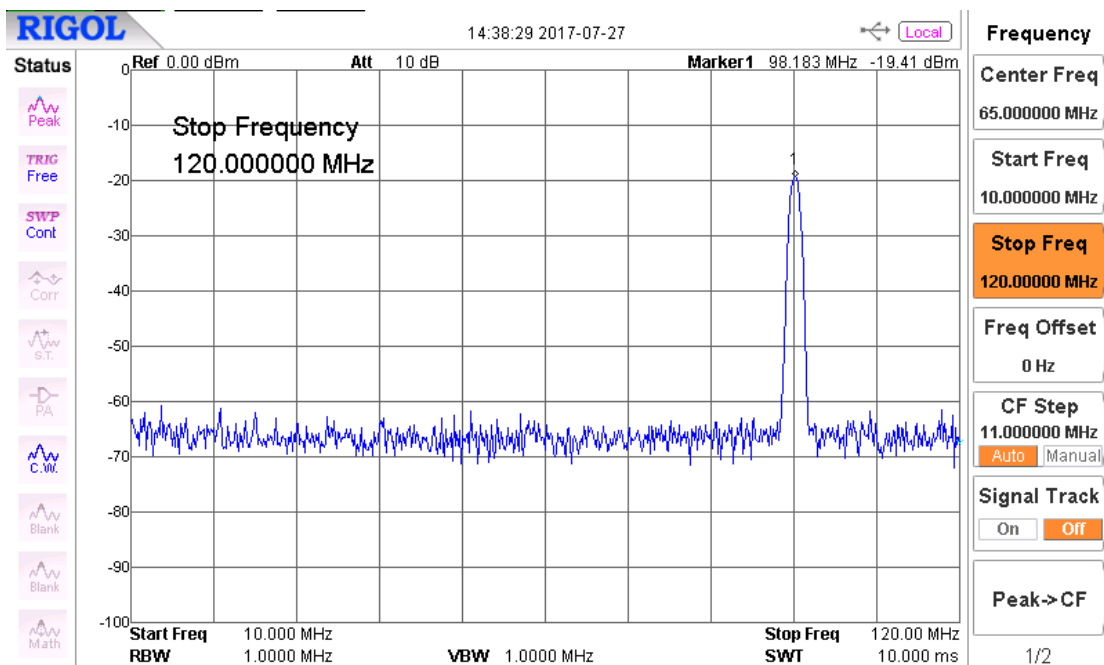


Figura 3.24 Componente espectral canal izquierdo

En las mediciones anteriores observamos la frecuencia fundamental junto con sus componentes espectrales del canal derecho y el canal izquierdo, en la medición de las componentes del canal derecho al tener un span de aproximadamente 700 MHz el piso de ruido sube por lo que se aprecia el nivel a -60 dBm, en la medición de las componentes espectrales del canal izquierdo al tener un span menor de 120 MHz el nivel de ruido baja.

3.4.5 Pruebas de emisión guiadas

Para las pruebas de emisiones guiadas se consideraron dos configuraciones las cuales son:

- Estereofónica
- Monofónica
- **Modo estereofónico**

Para el caso estereofónico el piloto fue ajustado al 9% (6.75KHz de desviación) y 15KHz fueron inyectados en la entrada izquierda y derecha con el canal principal y el canal estéreo en 28.5 KHz de desviación según nos indicaba la FCC

El transmisor fue energizado con 300 Vatios de salida R.F. y el nivel de las emisiones de prueba, fueron recogidas con el Analizador de Espectro.

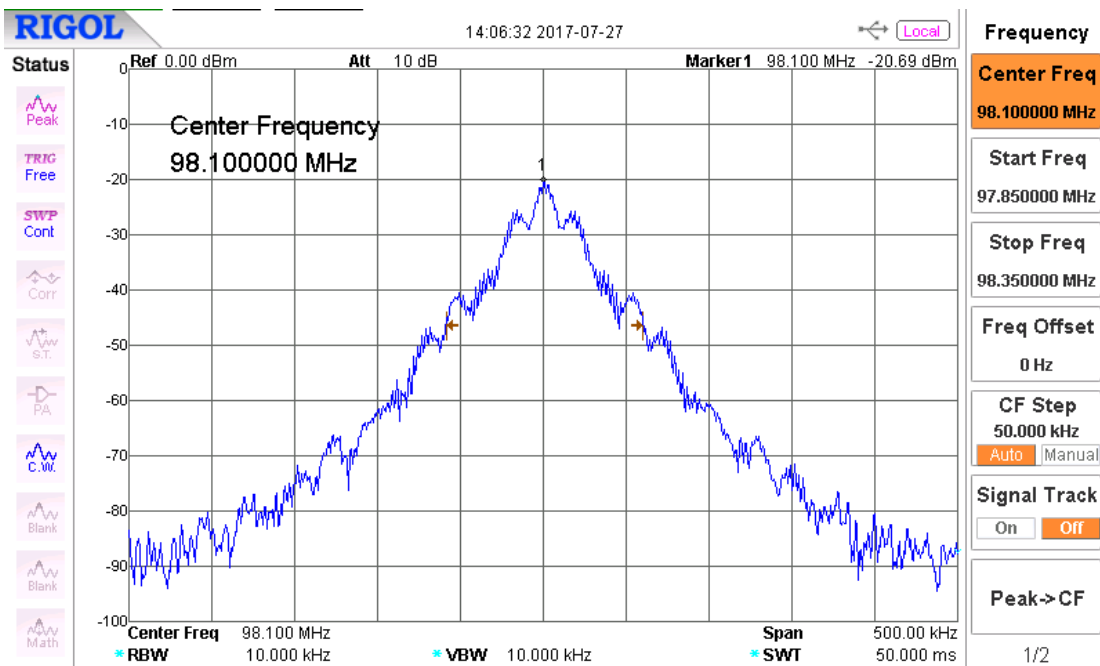


Figura 3.25 Emisión guiada modo estereofónico con span de 500 kHz

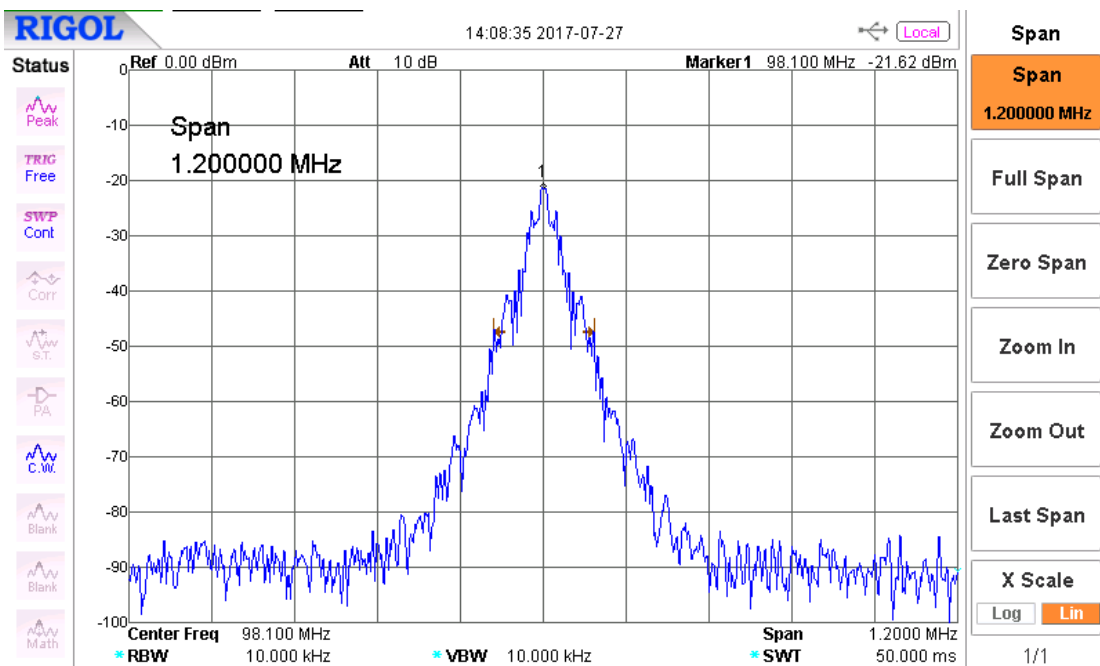


Figura 3.26 Emisión guiada modo estereofónico con span de 1.2MHz

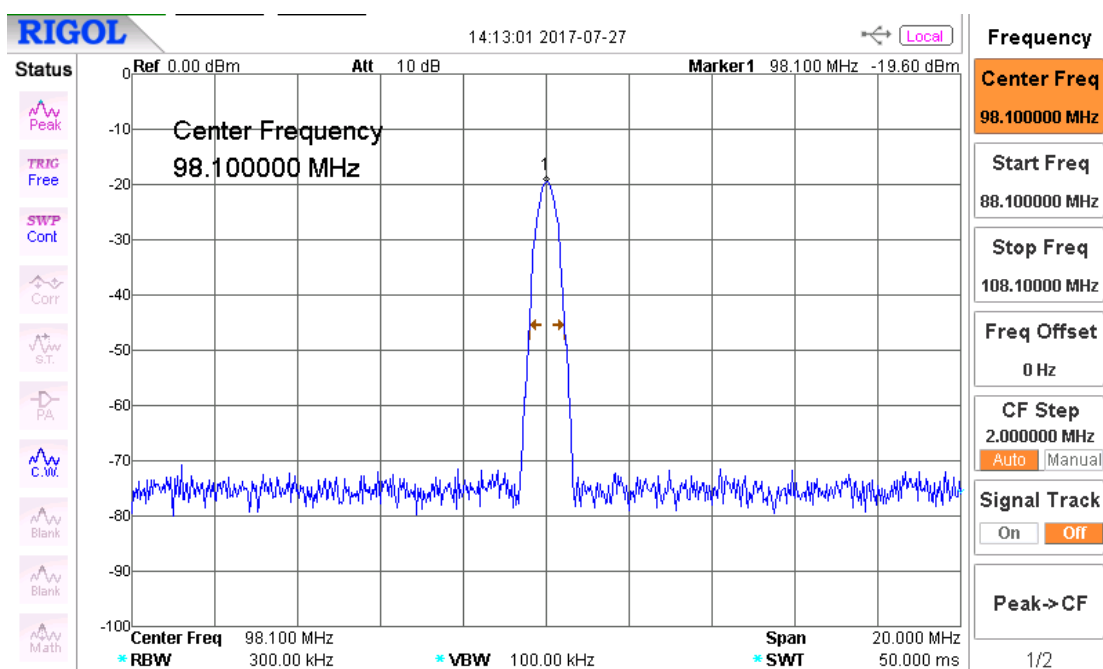


Figura 3.27 Emisión guiada modo estereofónico con span de 20 MHz

En el modo estereofónico, según las mediciones anteriores, se cumplen los requisitos como se indica en la Norma FCC 73.317 que nos indica lo siguiente:

- Las emisiones de entre 120 kHz y 240 kHz desplazadas desde la frecuencia portadora deben estar atenuadas al menos a -25 dB o mejor.
- Las emisiones entre 240 kHz y 600 kHz desplazada desde la frecuencia portadora deben estar atenuadas al menos a -35 dB o mejor.
- Las emisiones mayores que 600 kHz desplazadas desde la frecuencia portadora deben estar atenuadas al menos $43 + 10 \log P_{out}$, o 70 dBc referenciado a la portadora sin modular.

- **Modo monofónico**

Para el caso monofónico, 15KHz fueron aplicados a la entrada mono con 85% de modulación (63.75 KHz de desviación).

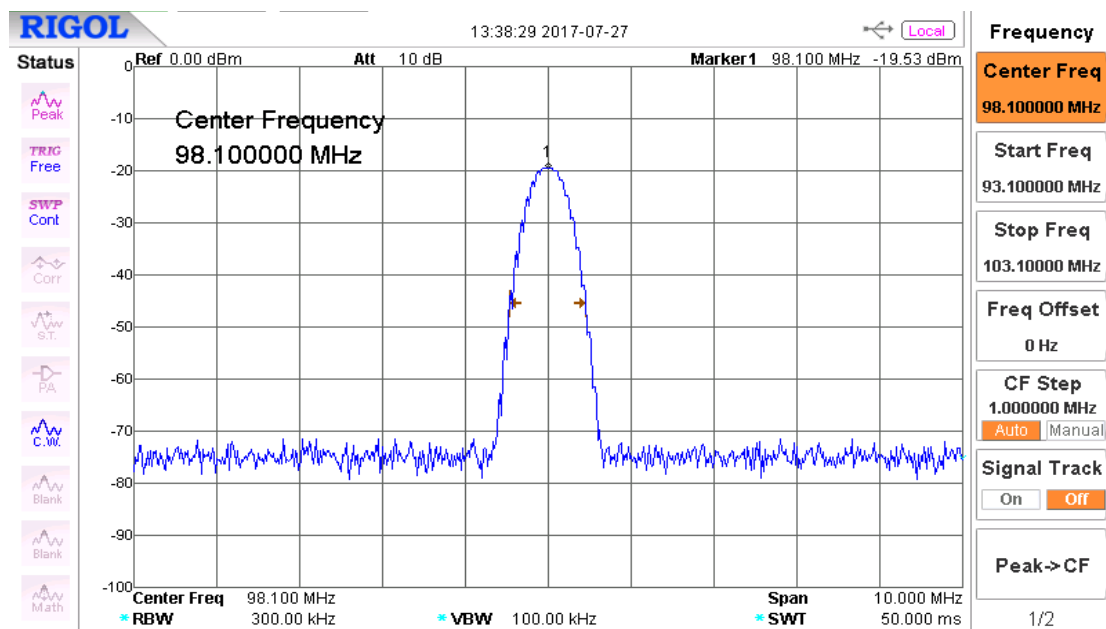


Figura 3.28 Emisión guiada modo monofónico con span de 10 MHz

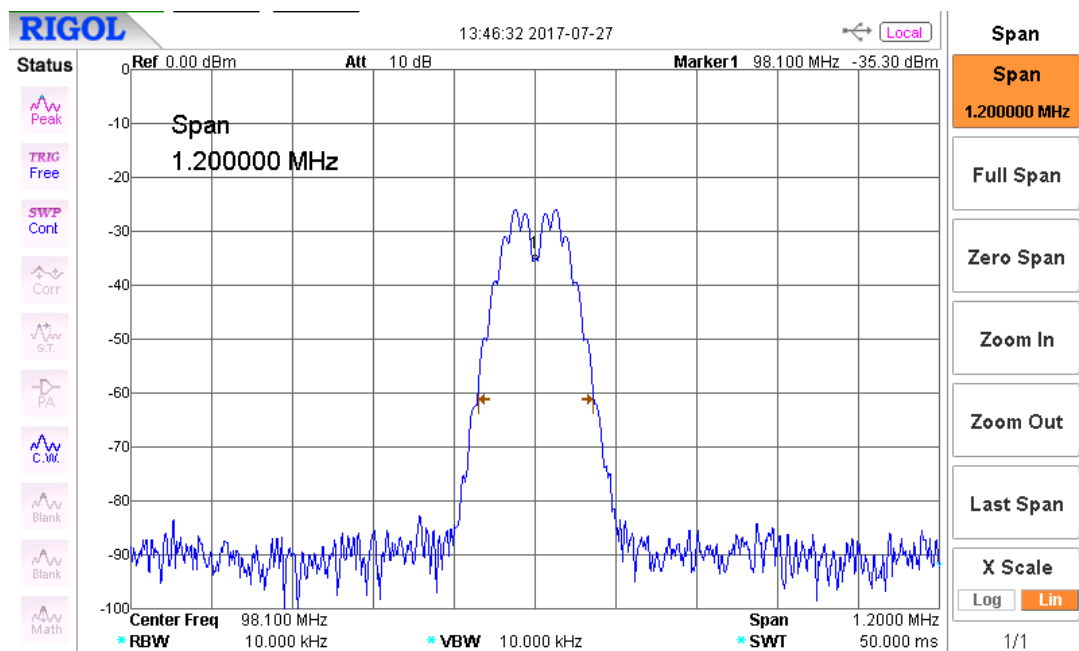


Figura 3.29 Emisión guiada modo monofónico con span de 1.2 MHz

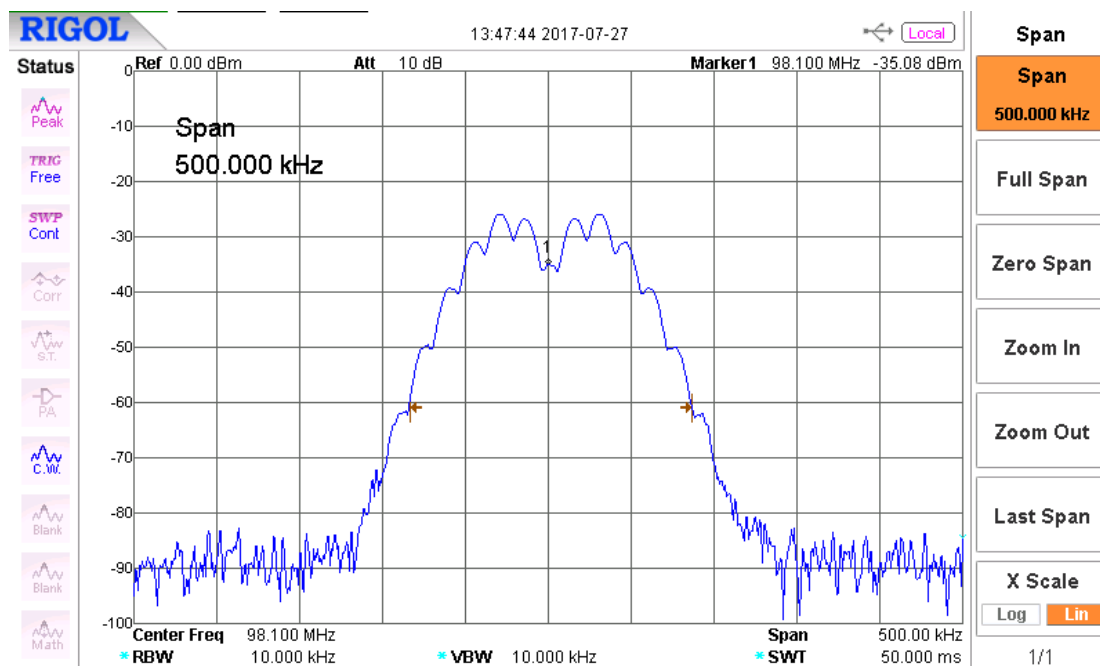


Figura 3.30 Emisión guiada modo monofónico con span de 500 kHz

En el modo monofónico, las emisiones cumplen los requisitos de la Norma FCC 73.317 que nos indica lo siguiente:

- Las emisiones de entre 120 kHz y 240 kHz desplazadas desde la frecuencia portadora deben estar atenuadas al menos a -25 dB o mejor.
- Las emisiones entre 240 kHz y 600 kHz desplazada desde la frecuencia portadora deben estar atenuadas al menos a -35 dB o mejor.
- Las emisiones mayores que 600 kHz desplazadas desde la frecuencia portadora deben estar atenuadas al menos $43 + 10 \log P_{out}$, o 70 dBc referenciado a la portadora sin modular.

3.4.6 Estabilidad de potencia con variaciones de temperatura

Para la medición de estabilidad de potencia con variaciones de temperatura el transmisor fue activado con una potencia de salida inicial de 300 Vatios a la temperatura ambiente. Posteriormente se procedió a aumentar la temperatura con una pistola de aire caliente, termo controlada hasta llegar a una temperatura aproximada de 50°C.

Para que la medición sea exacta se hizo el uso de un vatímetro con el cual se realizaron mediciones de potencia de salida cuando se variaba la temperatura.

- Temperatura 21°C



Figura 3.31 Potencia con temperatura de 21°C



Figura 3.32 Vatímetro marcando una potencia de 300 W

- Temperatura 50°C



Figura 3.33 Potencia con temperatura de 50°C



Figura 3.34 Vatímetro con potencia de 298 W

Como observamos en las mediciones del vatímetro al cambio de temperatura la potencia no varía en gran cantidad, con una temperatura más alta en este caso aproximadamente 50°C la potencia baja como medida de seguridad que tiene programado el trasmisor mismo.

3.4.7 Estabilidad de portadora con variaciones de temperatura

- Temperatura 21°C

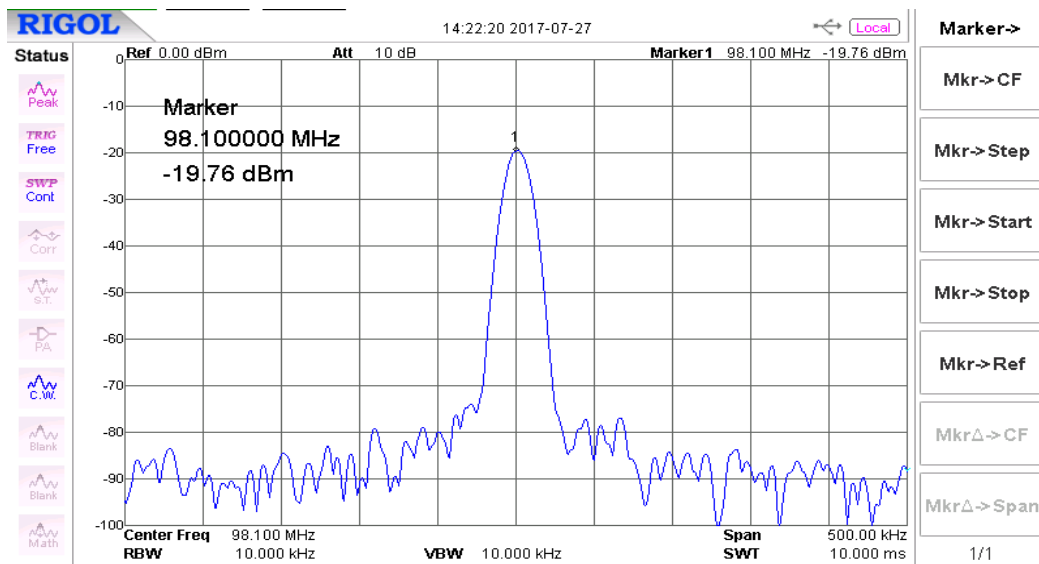


Figura 3.35 Portadora con temperatura de 21°C

- Temperatura 50°C

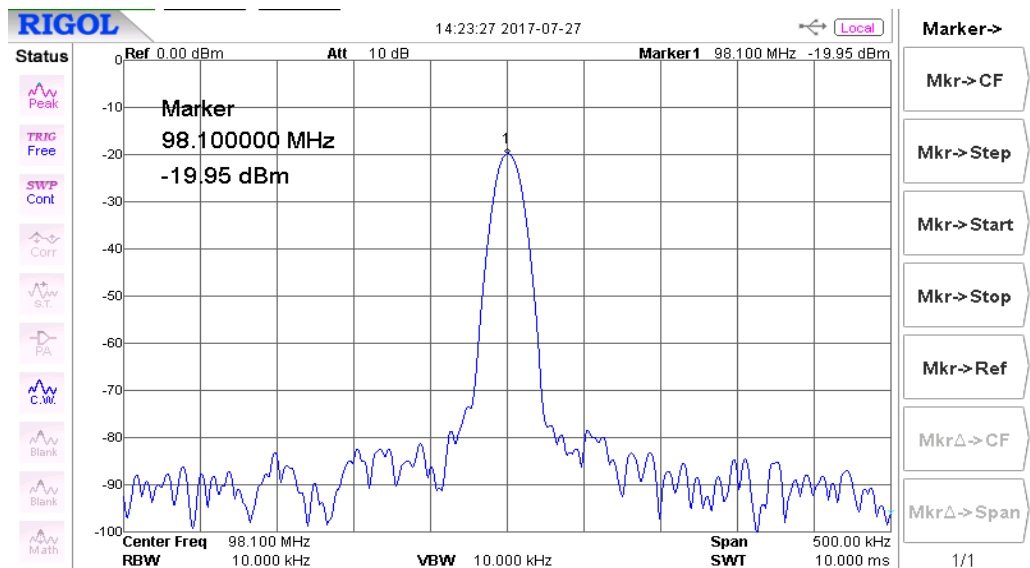


Figura 3.36 Portadora con temperatura de 50°C

Podemos observar mediante las mediciones realizadas a variaciones de temperatura que la portadora sin modular presenta una excelente estabilidad por lo que se puede concluir que el equipo funcionará de manera estable incluso en condiciones de temperaturas que demandan un mayor trabajo del equipo.

3.4.8 Ancho de banda

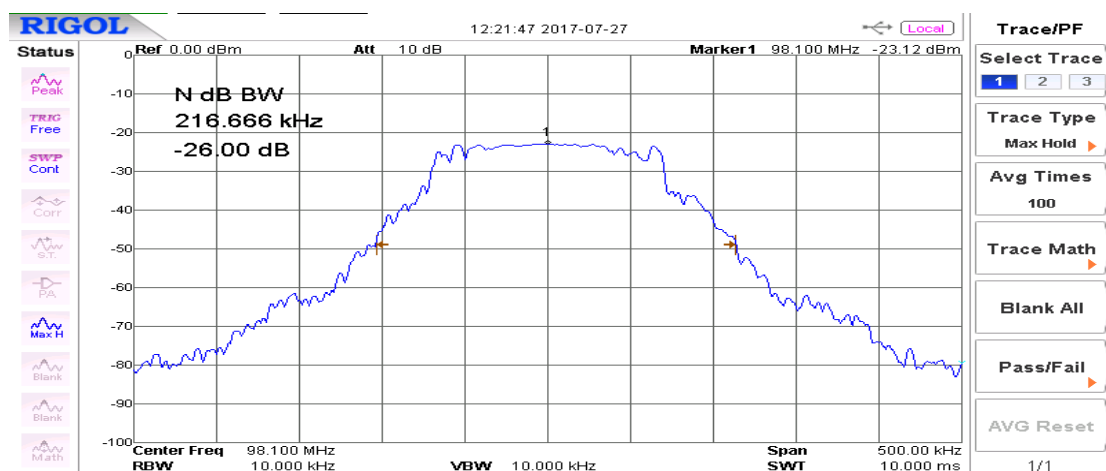


Figura 3.37 Ancho de banda con música de nivel normal

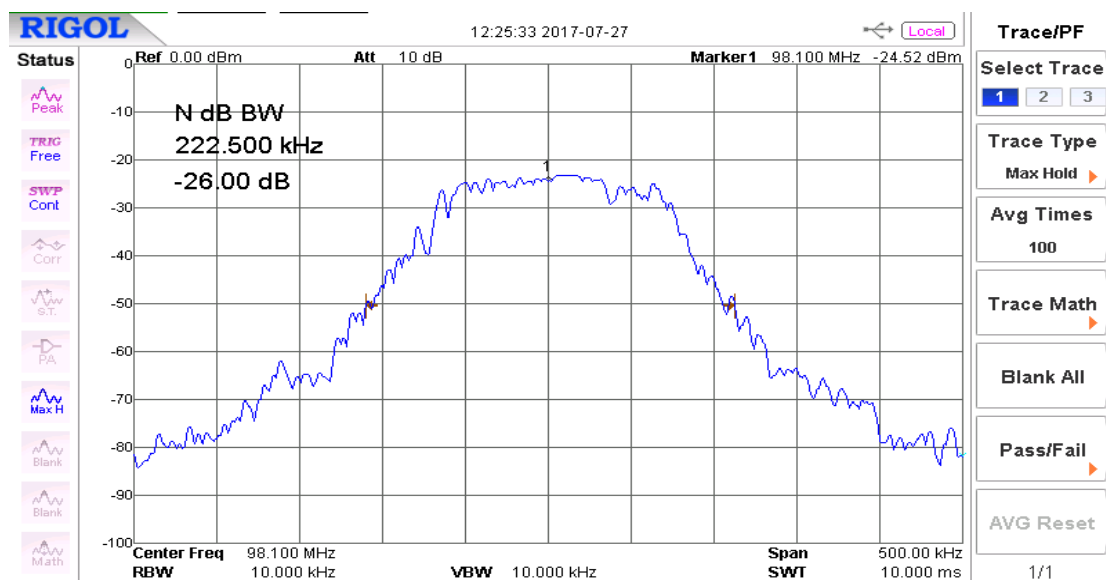


Figura 3.38 Ancho de banda con música de nivel ruidoso

El ancho de banda se midió con mediante las recomendaciones de la UIT la cual nos indica que se deberá medir en un nivel a -26 dB de la retención de máximos de nuestra portadora modulando.

El máximo ancho de banda permitido es de 220kHz con una variación de $\pm 5\%$. Observamos que el ancho de banda incluso transmitiendo una música de alto contenido ruidoso no sobrepasa el nivel permitido.

3.4.9 Estabilidad de frecuencia respecto al voltaje de línea

Para las mediciones de la estabilidad de frecuencia con respecto al voltaje de línea el transmisor se ajustó a una potencia de salida de 300 W a la temperatura ambiente normal. Mediante el uso de un vatímetro marca BIRD, modelo 43 se obtuvieron las mediciones de potencia. El voltaje se varió en un rango de 188 Voltios a 252 Voltios usando un variac para ajustar el mismo. El nivel de referencia se estableció en el Analizador de Espectro.

El resultado de las mediciones se detalla en la tabla 3.15:

Frecuencia (MHz)	Voltaje de Línea
98.10000007	188 Vac
98.10000007	220 Vac
98.10000007	252 Vac

Tabla 3.15 Frecuencia con variaciones de voltaje de línea

Como vemos la frecuencia generada por el transmisor se mantiene estable ante variaciones de los parámetros del Voltaje de línea lo que refleja una alta eficiencia en la circuitería para generación de frecuencia.

3.4.10 Estabilidad de potencia de salida respecto al voltaje de línea

Para las mediciones de la estabilidad de potencia de salida con respecto al voltaje de línea el transmisor se ajustó a una potencia de salida de 300 W a la temperatura ambiente normal. Mediante el uso de un

vatímetro marca BIRD, modelo 43 se obtuvieron las mediciones de potencia. El voltaje se varió en un rango de 188 Voltios a 252 Voltios usando un variac para ajustar el mismo. El nivel de referencia se estableció en el Analizador de Espectro.

Las mediciones se detallan en la siguiente tabla:

Potencia	Voltaje de Línea
303 W	188 Vac
300 W	220 Vac
305 W	252 Vac

Tabla 3.16 Potencia con variaciones de voltaje de línea

Como podemos observar al variar el voltaje de línea del transmisor se verá afectada la potencia de RF, por esta razón a cambios de Voltaje o corrientes el equipo transmisor cuenta con protecciones para que cuando varíen estos parámetros la potencia se mantenga lo más estable posible.

3.4.11 Voltajes y corrientes del amplificador final

Los Voltajes y corrientes DC del amplificador final fueron medidos con el transmisor operando a su potencia nominal de 312 Vatios y posteriormente se realiza la misma medición variando la potencia de salida del transmisor a 335 vatios. La medición del voltaje y la corriente DC fue realizada con el FLUKE 337; la tensión de alimentación se midió como 48Vdc para cada punto de la medición.

Potencia de salida de R.F.: 312 W

Voltaje: 48.9 V

Corriente: 7.9 A

Potencia DC de entrada del amplificador final: 386 W

Potencia de salida de R.F.: 335 W

Voltaje: 49.0 V

Corriente: 8.6 A

Potencia DC de entrada del amplificador final: 421.4 W

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1 Análisis de resultados

4.1.1 Estabilidad del equipo.

La estabilidad del equipo transmisor se puso a prueba mediante los siguientes métodos:

Estabilidad de frecuencia con respecto a variaciones de temperatura

Para las mediciones de la estabilidad de frecuencia con respecto a la temperatura, se realizaron variaciones de la temperatura, desde los 21°C hasta los 50 °C dándonos como resultado los siguientes datos:

TEMPERATURA	FRECUENCIA
21°C	98.100000 MHz
50°C	98.100000 MHz

Tabla 4.1 Frecuencia con variaciones de temperatura

Como podemos observar, al variar la temperatura, la frecuencia continúa manteniéndose constante en la frecuencia fundamental asignada, esto nos indica una buena circuitería en donde se genera la señal de portadora el cual es el excitador del transmisor.

Estabilidad de frecuencia con respecto a variaciones del voltaje de línea

La estabilidad de frecuencia fue puesta a prueba mediante variaciones de voltaje de línea que fueron establecidas en el rango de 188 – 252 Voltios. Las mediciones dieron como resultado los siguientes datos:

FRECUENCIA (MHZ)	VOLTAJE DE LÍNEA
98.10000007	188 Vac
98.10000007	220 Vac
98.10000007	252 Vac

Tabla 4.2 Frecuencia con variaciones de voltaje de línea

Como podemos observar al variar los voltajes de línea la frecuencia continua fija en la frecuencia establecida la cual fue 98.1 MHz.

Estabilidad de potencia con respecto a variaciones de temperatura.

La estabilidad de la potencia es un factor importante al momento de transmitir, para realizar las respectivas pruebas, se realizaron mediciones con variaciones de temperaturas las cuales arrojaron los siguientes datos:

TEMPERATURA	POTENCIA
21°C	300 W
50°C	298 W

Tabla 4.3 Potencia RF con variaciones de temperatura

Como se detalla en la tabla anterior, el transmisor al sensor una temperatura que sobrepase los 40°C activa los ventiladores a la máxima potencia, como resultado se presenta una pequeña disminución de la potencia de salida, sin embargo, continua aproximadamente en su potencia a la cual fue configurado, esto se debe a un buen diseño y programación de protección del equipo.

Estabilidad de potencia con respecto a variaciones de voltaje de línea.

Para comprobar la estabilidad del transmisor, se realizaron variaciones del voltaje de línea que fueron desde los 188V a 252V, como resultado de estas variaciones, obtuvimos los siguientes datos de la potencia:

Potencia	Voltaje de Línea
303 W	188 Vac
300 W	220 Vac
305 W	252 Vac

Tabla 4.4 Potencia RF con variaciones de voltaje de línea

Como podemos observar, al variar los voltajes de línea existe un cambio mínimo en cuanto a la potencia del transmisor, esto indica que cuenta con las debidas medidas de seguridad en caso de que existan cambios debido a fluctuaciones del voltaje.

4.1.2 Cumplimiento de la normativa vigente

El equipo transmisor de marca M&J, modelo MA-FM-350, mediante las mediciones realizadas en el capítulo anterior cumple con las normas técnicas establecidas en las parte 2 y parte 73 de las reglas de la FCC, en cuanto a los parámetros de potencia de salida, estabilidad de frecuencia asociada a variaciones de temperatura y voltaje de línea, respuesta de frecuencia vs demodulación de amplitud, ancho de banda ocupado de la señal F.M., armónicos y espurias, radiación de armónicos y espurias, así como de voltaje y corriente a la etapa final del amplificador. De la misma manera cumple con la Norma Técnica Para el Servicio de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada Analógica, emitida bajo Resolución ARCOTEL-2015-000061 del 08 de mayo del 2015.

4.1.3 Eficiencia del equipo

La eficiencia del equipo transmisor la obtenemos mediante las mediciones de voltajes y corrientes de la etapa final, con una potencia de salida de 312W del transmisor se consumen 386W, con estos datos podemos calcular la eficiencia de la siguiente manera:

$$eficiencia = \frac{312 W}{386 W}$$

$$eficiencia = 0.8082$$

$$eficiencia = 80.82\%$$

Como resultado obtenemos una eficiencia del 80.82% lo que nos indica que existirá un ahorro considerable de energía eléctrica que ayuda en la parte ecológica de nuestro país.

4.1.4 Cobertura de la emisora radial.

Mediante la simulación del diseño la emisora radial, se obtuvieron como resultado de cobertura las siguientes áreas: Guayaquil, Eloy Alfaro (Durán) (Cantón Durán), Yaguachi Nuevo (Cantón Yaguachi), Narcisa de Jesús (Cantón Nobol), Daule, Lomas de Sargentillo, El Salitre (Las Ramas), Cantón Urbina Jado, Samborondon, Milagro. Todas estas áreas se encuentran con un nivel de señal mayor a 54dBuV/m cumpliendo con lo establecido en la normativa técnica de Radiodifusión impuesta por la Arcotel. Los resultados son obtenidos mediante la simulación en el programa Radio Mobile y no medidos de manera real.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Disponer de una emisora radial en el campus Gustavo Galindo, nos permite dar a conocer a la sociedad las diferentes actividades que se realizan a lo largo del año en la ESPOL. Con el uso de esta, gran cantidad de bachilleres tendrán conocimiento de las fechas exactas de postulación además de todas las carreras y beneficios que brinda la universidad.

Los resultados obtenidos en las mediciones de los parámetros del transmisor de radiofrecuencia demuestran que Ecuador es capaz de diseñar y fabricar equipos con tecnología de punta y de alto rendimiento lo cual ayuda a la generación de empleo y desarrollo del país.

La mayoría de equipos transmisores actualmente en uso son equipos de fabricación extranjera cuyos parámetros técnicos de aceptación son detallados por organismos internacionales como la FCC y la UIT, debido a esto no se puede comprobar la confiabilidad de los componentes del equipo para certificar que no afecten a otras bandas de comunicación que conforman el espectro radioeléctrico.

El diseño de la emisora radial se basó en el uso de equipos transmisores de fabricación nacional con costos mucho menores a los tradicionales, pero con una alta eficiencia al momento de trabajar.

El radio de cobertura al momento de simular nos indica que se logran cubrir, con una potencia de transmisión de 300 W y con un nivel de recepción mayor a 54dBuV/m, las zonas principales de la ciudad de Guayaquil y sus alrededores, lo que indica, un buen uso de los elementos y parámetros que conforman todo el sistema de transmisión.

Actualmente la Arcotel no cuenta con un procedimiento de homologación de equipos transmisores de radiofrecuencia sonora en frecuencia modulada por lo que se hace uso de las reglas de homologación internacionales dispuestas por la FCC.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos del Ecuador, (2017, mayo). Informe de rendición de Cuentas. [online]. Disponible en: <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/sectores-estrategicos-presenta-informe-de-rendicion-de-cuentas-2016/>
- [2] S. Ellingson, "Spectral Occupancy at VHF: Implications for frequency agile cognitive radios", in Proc IEEE Veh. Technol. Conf., Dallas, Texas, Sep 2005, vol 2, pp 1379 – 1382
- [3] ESPOL, (2017, junio) Noticias de Espol [online]. Disponible en: <http://www.espol.edu.ec/espol/main.jsp?urlpage=noticia.jsp&offset=130>
- [4] ARCOTEL, (2017, junio) Concurso Público de Frecuencias de Radio y Televisión en señal Abierta [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/concurso-de-frecuencias/>
- [5] ARCOTEL, (2017, junio) Listado de puntajes alcanzados por los participantes del concurso público de frecuencias [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/listado-de-puntajes-alcanzados-por-los-participantes-del-concurso-publico-de-frecuencias/>
- [6] ARCOTEL, (2017, junio) Plan Nacional de Frecuencias Ecuador 2012 [online]. Disponible en: http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf
- [7] ARCOTEL, (2017, junio). Espectro Radioeléctrico [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico/>.
- [8] ICT Regulation Toolkit, (2017, junio). Introduction to Spectrum Management Overview [online]. Disponible en: <http://www.ictregulationtoolkit.org/toolkit/5.1>
- [9] Universidad Tecnológica Nacional, (2017, junio). Cap10 Transmisores de Radio [online]. Disponible en:

<http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/Aplicada/Cap10Transmisores.pdf>

[10] C. Pérez, J. Zamanillo, A. Casanueva, “Modulación de Amplitud,” en Sistemas de Telecomunicaciones, Servicios de Publicaciones de la Universidad de Cantabria, Eds. Santander: 2007, pp. 165-170.

[11] UIT-R, (2017, junio). Terms and definitions, Article 1 [online]. Disponible en: <http://life.itu.int/radioclub/rr/art1.pdf>

[12] ARCOTEL, (2017, junio). Normativa técnica para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada analógica [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico/>.

[13] ARCOTEL, (2017, junio). Normativa técnica para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada analógica, Separación entre portadoras [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico/>.

[14] ARCOTEL, (2017, junio). Normativa técnica para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada analógica, Porcentaje de modulación [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico/>

[15] UIT-R, (2017, junio). Transmission standards for FM sound Broadcasting at VHF [online]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.450-3-200111-1!!PDF-E.pdf

[16] Ayuda Electrónica, (2017, junio). Definiciones básicas en Comunicaciones [online]. Disponible en: <http://ayudaelectronica.com/definiciones-basicas-comunicaciones/>

[17] ARCOTEL, (2017, junio). Normativa técnica para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada analógica, P.E.R. [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico/>

[18] A. Hermoso, “Introducción a los Amplificadores.” en Electrónica Aplicada CF Instalaciones de Telecomunicaciones, MARCOMBO S.A., Eds. Barcelona: 2012, pp. 296-300

- [19] ARCOTEL, (2017, junio). Normativa técnica para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada analógica, Distorsión Armónica [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico/>
- [20] ARCOTEL, (2017, junio). Normativa técnica para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada analógica, Estabilidad de la Potencia de Salida [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico/>
- [21] ARCOTEL, (2017, junio). Normativa técnica para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada analógica, Intensidad de Campo Eléctrico [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico/>
- [22] UIT-R, (2017, junio). Mediciones de anchura de banda en las estaciones de comprobación técnica de las emisiones [online]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.443-4-200702-!!!PDF-S.pdf
- [23] UIT-R, (2017, junio). Emisiones no deseadas en el dominio no esencial [online]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.329-12-201209-!!!PDF-S.pdf
- [24] ARCOTEL, (2017, junio). Normativa técnica para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada analógica, Tolerancia de Frecuencia [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico/>
- [25] W. Tomasi, "Antenas y guías de onda." Sistemas de Comunicaciones electrónicas, Pearson Educación., Eds. Mexico: 2003, pp. 371-380
- [26] W. Tomasi, "Antenas y guías de onda." Sistemas de Comunicaciones electrónicas, Pearson Educación., Eds. Mexico: 2003, pp. 380-395
- [27] Universidad Politécnica de Valencia, (2017, junio). Antenas Elementales [online]. Disponible en: http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Antenas_elementales.pdf
- [28] W. Tomasi, "Antenas y guías de onda." Sistemas de Comunicaciones electrónicas, Pearson Educación., Eds. Mexico: 2003, pp. 390-407
- [29] W. Tomasi, "Antenas y guías de onda." Sistemas de Comunicaciones electrónicas, Pearson Educación., Eds. Mexico: 2003, pp. 383-385

- [30] Universidad Politécnica de Valencia, (2017, junio). Antenas Elementales [online]. Disponible en: http://www.upv.es/antenas/Tema_1/impedancia.htm
- [31] WNI, (2017, junio). Tipos de antenas y funcionamiento [online]. Disponible en: http://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:antenas-y-guias-de-onda&catid=31:general&Itemid=79
- [32] W. Tomasi, "Antenas y guías de onda." Sistemas de Comunicaciones electrónicas, Pearson Educación., Eds. Mexico: 2003, pp. 383-385
- [33] W. Tomasi, "Antenas y guías de onda." Sistemas de Comunicaciones electrónicas, Pearson Educación., Eds. Mexico: 2003, pp. 384-387
- [34] Universidad Politécnica de Valencia, (2017, junio). Antenas Elementales [online]. Disponible en: http://www.upv.es/antenas/Tema_1/Densidad_pot_radiada.htm
- [35] OWC UPM, (2017, junio). Parámetros básicos de Radiación, Diagrama de Radiación [online]. Disponible en: http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiacion-y-propagacion/contenidos/apuntes/tema2_2004.pdf
- [36] W. Tomasi, "Antenas y guías de onda." Sistemas de Comunicaciones electrónicas, Pearson Educación., Eds. Mexico: 2003, pp. 383-386
- [37] Universidad Politécnica de Valencia, (2017, junio). Antenas Elementales [online]. Disponible en: http://www.upv.es/antenas/Tema_1/Densidad_pot_radiada.htm
- [38] UNEXPO, (2017, junio). Propagación por onda directa [online]. Disponible en: http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiacion-y-propagacion/contenidos/apuntes/tema2_2004.pdf
- [39] UNEXPO, (2017, junio). Propagación por onda de superficie [online]. Disponible en: http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiacion-y-propagacion/contenidos/apuntes/tema2_2004.pdf
- [40] CEDAV, (2017, junio). PIRE (Potencia Isotrópica Efectiva Radiada) [online]. Disponible en: <http://www.cedav.net/va/otras-categorias/vigilancia-tecnologica/glosario/i/1949/370/pire-potencia-isotropica-radiada-equivalente>

- [41] UIT-R, (2017, junio). Cálculo de la Atenuación en el espacio Libre [online]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-!!!PDF-S.pdf
- [42] ARCOTEL, (2017, junio). Normativa técnica para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada analógica [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico/>
- [43] ARCOTEL, (2017, junio). Plan Nacional de Frecuencias [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico/>
- [44] ARCOTEL, (2017, junio). Listado de radios y canales de televisión [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/informacion-al-ciudadano/>
- [45] ARCOTEL, (2017, junio). Normativa técnica para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada analógica [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico/>
- [46] Universidad Tecnológica Nacional, (2017, junio). Cap10 Transmisores de Radio[online]. Disponible en: <http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/Aplicada/Cap10Transmisores.pdf>
- [47] ARCOTEL, (2017, junio). Normativa técnica para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada analógica [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico/>
- [48] UIT-R, (2017, junio). Antenas de emisión para radiodifusión en ondas kilométricas y hectométricas [online]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-BS.401-6-1990-PDF-S.pdf
- [49] ARCOTEL, (2017, junio). Normativa técnica para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada analógica [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico/>
- [50] ARCOTEL, (2017, junio). Normativa técnica para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada analógica [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico/>

[51] ARCOTEL, (2017, junio). Normativa técnica para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada analógica [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico/>

[52] ARCOTEL, (2017, junio). Misión, visión, principios y valores[online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/mision-vision-principios-y-valores/>

[53] Marcelo Ricardo Filián Narvárez, Sistema Automático para el Control del Espectro Radioeléctrico (SACER), SUPERTEL Comprobación Técnica del Espectro, Imprenta Don Bosco, Quito Ecuador, 2013

[54] ICT Regulation Toolkit, (2017, junio). Radio Spectrum Management. [online]. Disponible en: www.ictregulationtoolkit.org/en/Section.1247

[55] ARCOTEL, (2017, junio). Procedimiento Clausuras de estaciones de radiodifusión clandestinas [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/mision-vision-principios-y-valores/>

ANEXOS

Anexo 1: Numero de emisoras radiales en la ciudad de Guayaquil y sus alrededores.

CIUDAD	NUMERO DE EMISORAS
GUAYAQUIL	48

Anexo 2: Nota EQA.5

NOTA	UTILIDAD
EQA.5	Servicio de Radiodifusión con emisiones sonoras

Anexo 3: Distribución de las estaciones radiales en la ciudad de Guayaquil y sus alrededores.

FRECUENCIA	EMISORA RADIAL
88.1	RADIO AMOR.
88.5	GALAXIA STEREO
88.9	DIBLU
89.3	RADIO CITY
89.7	PUNTO ROJO FM
90.1	ROMANCE FM
90.5	CANELA
90.9	KISS
91.3	TROPICALIDA STEREO
91.7	ANTENA TRES
92.1	ESTRELLA
92.5	FOREVER MUSIC FM
92.9	ARMONICA FM STEREO
93.3	RADIO AMERICA
93.7	DISNEY
94.1	ONDA POSITIVA
94.5	PLATINUM FM
94.9	LA OTRA FM
95.3	CUPIDO
95.7	METRO STEREO
96.1	ONDA CERO FM
96.5	TROPICANA FM
96.9	MAS CANDELA

97.3	NUEVO TIEMPO
98.5	J.C. RADIO
98.9	IMPACTO FM
99.3	SABORMIX FM
99.7	ELITE
100.1	LA PRENSA SPORT
100.5	RSN FM STEREO
100.9	RADIO DE LA ASAMBLEA NACIONAL
101.3	RADIO CENTRO
101.7	TELEQUIL RADIO STEREO
102.1	WQ-DOS
102.5	HCJB LA VOZ Y VENTANA DE LOS ANDES
102.9	RADIO VIGIA FM
103.3	JOYA STEREO
103.7	SONORAMA FM
104.1	ALFA RADIO
104.5	LA TUYA
104.9	ONCE Q FM
105.3	RADIO PUBLICA
105.7	FABU STEREO
106.1	B.B.N.
106.5	FUEGO
106.9	FRANCISCO STEREO
107.3	RADIO RUMBA
107.7	VISION FM

Anexo 4: Elementos de la Cabina Master

- 1 Procesador de Audio de 5 Bandas marca M&J modelo PA-MA-2005.
- 1 Consola XENYX QX1204USB (de 12 canales).
- 4 micrófonos SHURE SV100, con 4 metros de cables y conectores XLR (CANON).
- 1 Procesador-Compresor de micrófono de 4 canales marca M&J modelo CMIC-MA-4.
- Servidor CORE I5 marca M&J, modelo MA-S-15.
- 1 Sintonizador Digital Estéreo AM/FM TECHNICS ST-K55.
- 2 pedestales para micrófonos tipo brazo marcan LUXO, modelo LM-1.
- 1 Par de parlantes de monitoreo marca JBL, modelo Control-5.
- 1 Amplificador de Audio de 40W/8Ω y 75W/4Ω por canal marca AEQ, modelo 151.
- 1 Audífonos profesionales SONY MDR-100AAP.

Anexo 5: Características técnicas del transmisor y receptor de enlace.

Transmisor de enlace

- Estabilidad de frecuencia $\leq \pm 1$ ppm.
- Modulación F.M. directa.
- Impedancia de Salida de 50 Ohm.
- Pre-énfasis de 75us.
- Supresión de armónicos y emisiones espurias superior a 75dB.
- Nivel de entrada MPX ajustable de -20 a +13 dBm para ± 75 kHz de desviación.
- Relación S/N en 60 dB.
- Distorsión armónica total típica es menor o igual a 0.04%.
- Separación Estéreo Típica mayor a 50dB.

Receptor de Enlace

- Sensibilidad típica de 100uV antes de demodular y desenfatar.
- Separación Estéreo típica de 48 dB en la banda de 40 Hz a 15kHz.
- Distorsión armónica total máxima de 0.04%.
- Impedancia de entrada de 50Ω.
- Los requerimientos eléctricos son 110/220 Vac $\pm 10\%$ y 50-60 Hz.

Anexo 6: Características técnicas de la antena transmisora y receptora de enlace.



RANGO DE FRECUENCIA	406 – 420 MHz
GANANCIA	12 dBi
IMPEDANCIA	50 Ohms
VSWR	Menor a 1.35:1
POLARIZACIÓN	Horizontal/Vertical
RELACIÓN FRENTE-ESPALDA	>18dB
MÁXIMA POTENCIA DE ENTRADA	250W (50°C)
ABERTURA DE HAZ PLANO H	53° a media Potencia

ABERTURA DE HAZ PLANO E	41° a media Potencia
CONECTOR	N(H)
PESO	6.5 lb
DIMENSIONES	44x16.5 pulg.
FRENTE A LA CARGA DE VIENTO	a 100mph(160kph) 21lbf (90N)
SUPERVIVENCIA DE VIENTO	120mph (200km/h)

Anexo 7: Especificaciones técnicas de la línea de transmisión para el radio enlace.

Línea de transmisión tipo HELIAX marca ANDREW modelo LDF4-50A de ½”



Especificaciones Técnicas:

IMPEDANCIA DEL CABLE	50 Ω \pm 1 Ω
CAPACITANCIA	23.1pF/ft / 75.8 pF/m
RESISTENCIA DC, CONDUCTOR INTERNO	0.450 Ω /kft 1.480 Ω /km
RESISTENCIA DC, CONDUCTOR EXTERNO	0.820 Ω /kft 2.690 Ω /km
TEST DE VOLTAJE DC	4000 V
INDUCTANCIA	0.190 μ H/m 0.058 μ ft
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	100000 M Ω .km
TEST DE VOLTAJE DEL RECUBRIMIENTO	8000 V
BANDA DE FRECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO	1 – 8800 MHz
PICO DE POTENCIA	40.0 Kw
VELOCIDAD	88%

Anexo 8: Especificaciones técnicas del Transmisor FM.



El transmisor marca M&J modelo MA-FM-3500 opera en la banda de 87.5 MHz-108 MHz permitiendo una programación de frecuencia a pasos de 100 kHz; cuenta con un control de nivel de potencia de salida variable capaz de variar la potencia de salida de 150 W-350 W (eficiencia del 70%); la estabilidad de frecuencia tiene un límite máximo de ± 10 p.p.m. desde 0°C hasta 70°C; el tipo de modulación es F.M. 220KF 8EHN de acuerdo a los requerimientos FCC y UIT, la distorsión por intermodulación transitoria inferior a 0.1% ; pre-énfasis de 50 y 75 μ s; la relación señal ruido típica para 75 kHz de desviación es superior a 75dB.

El equipo cuenta con protección a sobrecarga, alto VSWR (Relación de Onda Estacionaria) de antena, excesiva temperatura y potencia de excitación realizado a través de un módulo de control interno dirigido por un microcontrolador. La impedancia de salida es de 50 Ω , conectores de entrada tipo XLR3, RS232 y de salida tipo DIN 7/16; el equipo debido a su tecnología (MOSFET) reduce el consumo de energía eléctrica, el modulo amplificador necesita solo de 350 W para producir 300W de potencia R.F., cabe recalcar que el equipo transmisor genera su frecuencia a través de un P.L.L. completamente estable en el módulo excitador integrado en el equipo. Los armónicos y espurias se encuentran atenuados a valores superiores a 80dB de acuerdo a la normativa técnica vigente y los estándares FCC y UIT; el sistema de enfriamiento es realizado a través de ventilación forzada y el suministro de energía de 110Vac \pm 10%/50-60Hz. Se adjuntan las características básicas del equipo.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Tipo de emisión:	220KF 8EHN
Frecuencia:	88 MHz a 108 MHz/ 100 kHz de paso
Alimentación Primaria:	Monofásica 110V/220V(+/-)10%,60Hz
Temperatura de Operación:	-10°C+70°C
Humedad Relativa:	hasta 95% no condensada
Altura sobre el nivel del mar:	2000 m (opcional otras alturas)
Impedancia de Entrada Audio Canal Izquierdo y Derecho:	600 (H.Z.) y 100 (L.Z.)
Nivel de entrada a 100% de modulación en 400 Hz:	0dBm 1 voltio pico-pico
Impedancia de Salida:	50 Ohm
Conector de Salida:	DIN 7/16(100/300W/600W/1000W)
ROE de salida máximo admitido:	1:1.5
Potencia de Salida (W):	100-300-600-1000 (según versión)
Entrada de audio:	1 voltio pico-pico
Capacidad de Modulación:	100 kHz
Estabilidad de Frecuencia de Portadora:	+/- 10 p.p.m.
Nivel de emisiones modo estereofónico:	
120 y 240 kHz:	<-25 dB
240 y 600 kHz:	<-35dB
Más de 600 kHz:	<-60dB
Emisiones no esenciales:	> -80dB
Respuesta Amplitud-Frecuencia:	+/- 1dB
Diferencias de respuesta entre ambos canales:	<(+/-) 0.1 dB
Filtrado de 19 kHz o Atenuación:	>45 dB
Nivel de Ruido de Modulación de Amplitud:	mejor o igual que -50dB
Nivel de Ruido de cada Canal:	mejor o igual que -60 dB
Distorsión por intermodulación:	<-50dB
Diafonía:	-40dB
Separación entre Canales:	mejor o igual que 45 dB
Estabilidad de frecuencia de la subportadora piloto:	+/- 1Hz
Subportadora Estereofónica:	+/- 2Hz
Diferencia de fase entre subportadoras:	+/-2°

Anexo 9: Especificaciones técnicas del Arreglo de Antenas del Sistema Radiante

Antena MP-1 de Polarización circular del Sistema Transmisor



RANGO DE FRECUENCIA	87.5 – 108 MHz
IMPEDANCIA	50 Ohms
POTENCIA MAXIMA	500 W
POLARIZACIÓN	CIRCULAR A DERECHAS
CONECTOR DE ENTRADA	N(H) 7/16 7/8
PESO	3.9 Kg
PROTECCION DESCARGAS ELECTRICAS	TIERRA
MONTAJE	TUBO 1-3''
MATERIAL	ACERO INOXIDABLE
ROE TIPICO	1.10:1
GANANCIA	2.15 dBi

Anexo 10: Especificaciones técnicas de la línea de Transmisión del Sistema Radiante

LINEA DE TRANSMISIÓN BELDEN 9913 RG-8U



Especificaciones Técnicas:

IMPEDANCIA DEL CABLE	50 Ω \pm 1 Ω
CAPACITANCIA	24.6pF/ft
RESISTENCIA DC, CONDUCTOR INTERNO	0.9 Ω /kft
RESISTENCIA DC, CONDUCTOR EXTERNO	1.8 Ω /kft
TEST DE VOLTAJE DC	300 V
INDUCTANCIA	0.059 μ H/m
VELOCIDAD	84%